Simon Alpár Tunyagi Arthúr Róbert

ELEKTRONIKA

LABORATÓRIUMI PRAKTIKUM

3

Analóg elektronika gyakorlatok

Presa Universitară Clujeană

Simon Alpár • Tunyagi Arthúr Róbert

ELEKTRONIKA

LABORATORIUMI PRAKTIKUM

3. Kötet

Analóg elektronika gyakorlatok

Simon Alpár • Tunyagi Arthúr Róbert

ELEKTRONIKA

LABORATORIUMI PRAKTIKUM

3. Kötet

Analóg elektronika gyakorlatok

Presa Universitară Clujeană / Kolozsvári Egyetemi Kiadó

2023

Referenți științifici:

Conf. dr. Járai-Szabó Ferenc

Conf. dr. Libál András

ISBN general: 978-606-37-1254-8
ISBN specific: 978-606-37-2011-6

Universitatea Babeş-Bolyai
Presa Universitară Clujeană
Director: Codruţa Săcelean
Str. Hasdeu nr. 51
400371 Cluj-Napoca, România
Tel./Fax: (+40)-264-597.401
E-mail: editura@ubbcluj.ro
http://www.editura.ubbcluj.ro/

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETŐ

Az *„Analóg elektronika gyakorlatok”* alcímet viselő kötet az *„Elektronika laboratóriumi praktikum”* munkánk harmadik kötete, az első (*„Elméleti és kísérleti alapok”*) és a második (*„Digitális elektronika gyakorlatok”*) rész szerves folytatása.

A jelen kötet egy laboratóriumi útmutató, ahol a hallgató olyan analóg elektronikai kihívásokkal szembesül, amelyeket gyakorlati-kísérleti úton kell megoldjon.

A gyűjtemény első részében olyan feladatokkal találkozhatunk, amelyek a szakterületre jellemző eszköztár helyes használata révén megcélozzák a gyakorlati és méréstechnikai készségek kialakítását. Természetesen nem maradhat ki az analóg elektronikára jellemző nevezetesebb kapcsolások és áramkörök tanulmányozása sem. Ennek értelmében, a hallgatók megismerkedhetnek a passzív szűrők, az egyenirányítók, a stabilizátorok, a kisjelű erősítők, a műveleti erősítők, az oszcillátorok és a billenőkapcsolások működésével és jellegzetességeivel. Ugyanakkor, bizonyos dolgozatok elősegítik a fontosabb aktív alkatelemek (diódák és tranzisztorok) fizikai működésének megismerését és megértését is.

A kötetet viszonylag bő, válogatott irodalomjegyzékkel és webográfiával zárjuk. Azok számára, akik a tárgyaltakat részletesebben, mélyebben és magasabb szinten kívánják megismerni több könyv-, tankönyv- és jegyzet címet gyűjtöttünk ide össze, a webográfia részben pedig olyan honlapcímeket adtunk meg amelyek akár elméleti szinten, akár hasznos gyakorlati információkat tartalmazva segítik a laboratóriumi munkát. Ugyanitt hívjuk fel a hallgatók figyelmét néhány igen jól használható számítógépes szakszoftver és szimulációs programcsomag létezésére is.

Reménységünk szerint a kötetben található gyakorlatok eredményes tanuláshoz és szakmai sikerekhez fognak vezetni.



dr. Simon Alpár
docens



dr. Tunyagi Arthúr
adjunktus

2. AZ LCR-T4 ALKATELEM TESZTER VIZSGÁLATA

1. A GYAKORLAT CÉLJA

Az LCR-T4 alkatelem teszter felépítésének és működésének megismerése, illetve helyes használatának elsajátítása

2. SZÜKSÉGES ESZKÖZTÁR

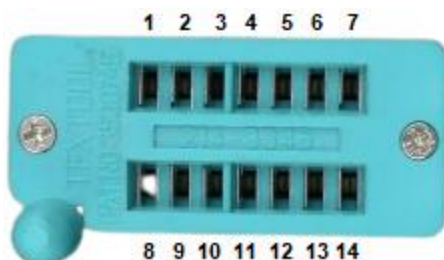
- grafikus, többfunkciós alkatelem teszter
- kézi multiméter és megfelelő mérőzsinórok
- ellenállás (R = 1 kΩ / 1 W)
- mérőtüskék

3. ELMÉLETI ALAPOK RÖVIDEN

Az alkatelem teszter egy kisméretű mikrokontroller alapú kézi mérőeszköz, amihez egy ismeretlen alkatrészt csatlakoztatva megtudhatjuk annak típusát, főbb működési paramétereit és üzemképességi állapotát.



A mérésre váró alaktelem behelyezését egy 14 bemenetes ZIF foglalat könnyíti meg. A foglalat neve egy rövidítés, az angol elnevezés kezdőbetűiből származik: Zero Insertion Force, azaz a mérendő elektronikai alkatelem erőkifejtés nélkül behelyezhető a foglalatba, a rögzítést vagy kiengedést egy kis kar elfordítása teszi lehetővé. Ilyen rendszerűek a sokkal több csatlakozási ponttal rendelkező és a számítógép alaplapján található mikroprocesszorok foglalatjai is.



← az univerzális ZIF csatlakozó

Az alkatelem teszter gyors névleges értékmérést és kivezetés azonosítást tesz lehetővé, kijelzi az adott névleges értéket mértékegységgel együtt és megadja a kivezetések elrendezését, illetve azok sorrendjét és azzal együtt kirajzolja az alkatelem áramköri szimbólumát (rajzjelét). A tesztelés során az üzemállapot vagy működőképesség ellenőrzése is megtörténik: egy üzemképes alkatelem esetén az említett információk megjelennek a kijelzőn, ha meghibásodott alkatelemről van szó, akkor hibakód vagy hibaüzenet jelenik meg.

Figyelem!
A teszterrel nem szabad feszültséget mérni, vagy feszültség alatt levő alkatelemet tesztelni.

4. A GYAKORLATI MUNKA MENETE. FELADATOK ÉS KÉRDÉSEK

- mérőtüskék és a kézi multiméter folytonosság tesztfunkciója segítségével határozzuk meg az alkatelem teszter univerzális ZIF csatlakozójának működési elvét
- felhasználva az alkatelem teszter univerzális ZIF csatlakozójának látképét, jelöljük meg azokat a bemeneteket, illetve bemenet kombinációkat, amelyek segítségével a 2 vagy 3 kivezetéses alkatelemek helyesen lemérhetők
- próbáljuk megmérni az adott ellenállás névleges értékét a teszter bemeneteinek helyes, illetve helytelen használatával
- mit figyelhetünk meg a teszter kijelzőjén a két esetben?
- készítsünk részletes és kimerítő kiértékelő jelentést munkánkról

5. OLVASNIVALÓ

- http://www.editura.ubbcluj.ro/bd/ebooks/pdf/3039.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/LCR_T4.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/LCR-T4_pluto.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Uni-t_UT131ABCD_DMM.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/+help/

6. BEMUTATÓ VIDEÓK

- https://www.youtube.com/watch?v=bGBempgP2G4&t=287s
- https://www.youtube.com/watch?v=ZLlwQg4wI9A
- https://www.youtube.com/watch?v=x5H0lJ6rlQE

3. A FORRASZTÁSMENTES PRÓBAPANEL VIZSGÁLATA

1. A GYAKORLAT CÉLJA

Egy forrasztásmentes próbapanel és a hozzá tartozó jumperkészlet felépítésének és működésének megismerése, illetve helyes használatának elsajátítása

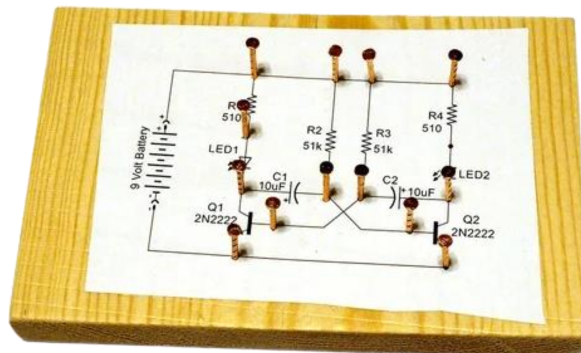
2. SZÜKSÉGES ESZKÖZTÁR

- forrasztásmentes próbapanel és jumperkészlet
- kézi multiméter és megfelelő mérőzsinórok
- mérőtüskék

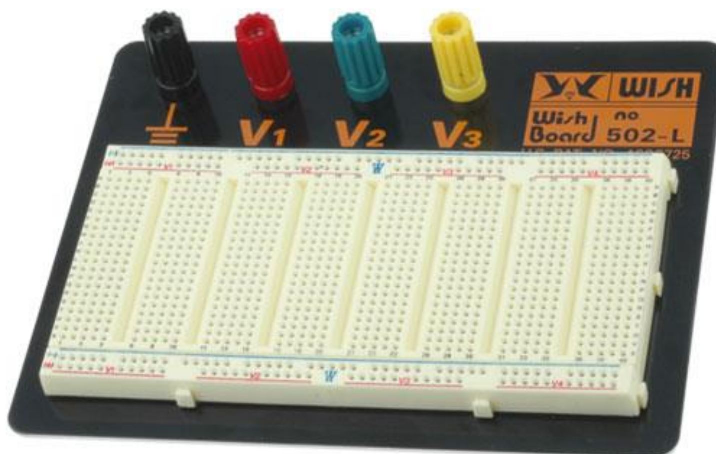
3. ELMÉLETI ALAPOK RÖVIDEN

A forrasztásmentes próbapanel (breadboard) ideális a forrasztás nélküli gyors áramkör építéshez, illetve prototípus teszteléshez. A *breadboard* elnevezés (magyarul vágódeszka) onnan származik, hogy az első ilyen kezdetleges áramkör tesztelők a vágódeszkához hasonló falapon készültek el.





„kezdetleges” breadboardok



„modern” breadboard

A modern próbapanelek úgy működnek, hogy a burkolat alatt fém összeköttető sínek vannak elhelyezve. Úgy lehet kapcsolatot létesíteni az egyes alkatrészek között, hogy figyelembe véve a belső felépítést, a megfelelő helyekre be kell illeszteni azok kivezetéseit.

Egyik legnagyobb hátrányuk az, hogy nem teszik lehetővé a felületszerelt alkatelemekkel (*SMD*) való munkát. Használatuk előnye az, hogy a furatszerelt alkatelemeket (*THD*) nem kell forrasztani és az áramkör bármikor szétszedhető lesz, így az alkatrészeket újra fel lehet használni majd más célokra is.

A komplexebb áramkörök kivitelezéséhez az alkatelemek összekötését különböző hosszúságú átkötő huzalok (jumperek) biztosítják:



A legelterjedtebb átkötő huzal készlet a „nagy” dobozos, 350 darab ónozott huzallal. A kisebb panelekhez kapható egyszerűbb, „csak” 140 huzalos készlet is. A huzalok átmérője 0,644 mm (22AWG), 14 különböző színben vagy méretben. A nagy készlet minden színből 25 darabot tartalmaz, a kisebbik készlet pedig egyenként 14 darabot.

A jumperek szín (méret), illetve hosszúság szerinti eloszlása:

- csupasz (színes szigetelő nélkül, nagyon rövid) = 2,5 mm
- piros (rövid) = 5,1 mm
- narancs (rövid) = 7,6 mm
- sárga (rövid) = 10,2 mm
- zöld (rövid) = 12,7 mm
- kék = 15,2 mm
- lila = 17,8 mm

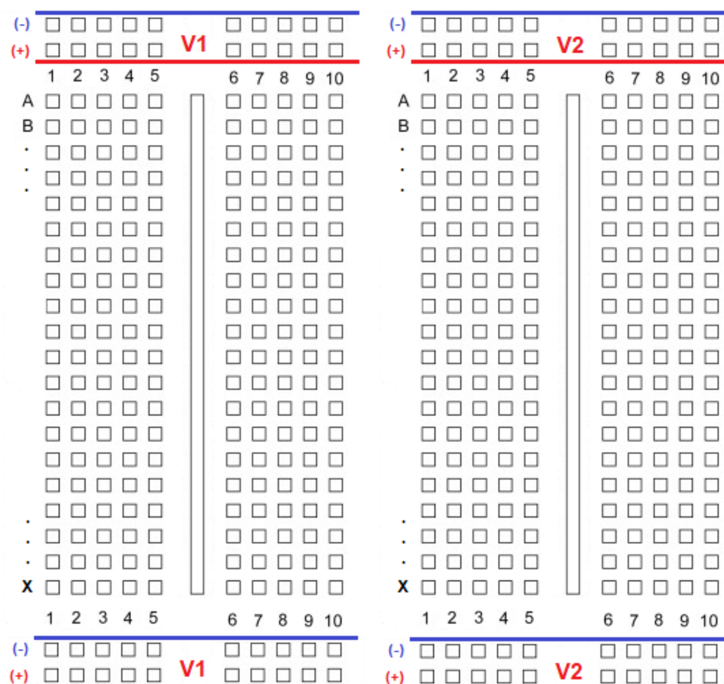


- szürke = 20,3 mm
- fehér = 22,9 mm
- barna = 25,4 mm
- piros (hosszú) = 50,8 mm
- narancs (hosszú) = 76,2 mm
- sárga (hosszú) = 101,6 mm
- zöld (hosszú) = 127 mm

A szakmai gyakorlat számára számos olyan, online vagy telepíthető programcsomag létezik, amely a próbapanel működését és a megépített áramkör szimulációját teszi lehetővé (*Thinkercad*, *Fritzing*, *Breadboard Simulator* stb.)

4. A GYAKORLATI MUNKA MENETE. FELADATOK ÉS KÉRDÉSEK

- mérőtüskék és a kézimultiméter folytonosság tesztfunkciója segítségével határozzuk meg a próbapanel egy alegységének (5 oszlop / 20 sor) belső szerkezetét
- felhasználva a próbapanel dupla alegységének látképét jelöljük meg a panel belsejében található összekötő sínek (rövidzárlatok) helyét



- milyen kapcsolat van a dupla alegységek sorai és oszlopai között?
- milyen kapcsolat van a 4 dupla alegységek között?
- hány csatlakoztatási pontja van a rendelkezésünkre álló próbapanelnek?
- készítsünk részletes és kimerítő kiértékelő jelentést munkánkról

5. OLVASNIVALÓ

- http://www.editura.ubbcluj.ro/bd/ebooks/pdf/3039.pdf
- https://www.tme.eu/hu/details/wbu-502l/univerzalis-nyak-ok/wisher-enterprise/
- https://www.tme.eu/hu/details/wjw-70b/univerzalis-nyak-ok/wisher-enterprise/
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Uni-t_UT131ABCD_DMM.pdf
- https://www.instructables.com/Fritzing-A-Tutorial/
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/+help/

6. BEMUTATÓ VIDEÓK

- https://www.youtube.com/watch?v=fq6U5Y14oM4
- https://www.youtube.com/watch?v=6WReFkfrUIk
- https://www.youtube.com/watch?v=9mYU4_bRx8g&t=1295s

4. BEVEZETŐ MÉRÉSEK AZ ASZTALI MULTIMÉTERREL

1. A GYAKORLAT CÉLJA

A digitális multiméterek működésének megértése és helyes használatának elsajátítása, illetve méréses gyakorlati összehasonlítás végzése kézi és asztali multiméterek között.

2. SZÜKSÉGES ESZKÖZTÁR

- grafikus, többfunkciós alkatelem teszter
- ellenállás (R = 1 kΩ / 1 W)
- 1 % és 5 % értéktűrésű 1 kΩ-os ellenállások
- kézi multiméter és mérőzsinórok
- stabilizált feszültségforrás (labortáp)
- asztali multiméter és mérőzsinórok
- krokodil csipeszek

3. ELMÉLETI ALAPOK RÖVIDEN

A digitális mérőműszerek elektronikus felépítésűek, a működésükhöz tápfeszültség szükséges. Egy digitális „mérőmű" mindig feszültséget mér, és az eredményt digitális kijelzőn jeleníti meg. A műszer digitális elnevezését nem a kijelző típusa adja, hanem a mérési módszer sajátosságából származik. A mérőműszer belső mérőelektronikáját úgy készítik, hogy bemenő ellenállása igen nagy legyen, azaz a mérendő áramkört minél kisebb mértékben terhelje.

A digitális jelfeldolgozásnak köszönhetően a mai korszerű mérőműszerek a jól bevált feszültség, áramerősség és rezisztencia mellett más mennyiségek mérésére is alkalmasak (frekvencia, dióda, tranzisztorok áramerősítési tényezője, hőmérséklet, kapacitás, induktivitás, szakadásvizsgálás stb.).

A digitális mérőműszerek legfontosabb tulajdonságai:

- a mért mennyiséget megfelelő helyiértékeken, általában hétszegmenses LCD (folyadékkristály) kijelzőkön, tizedesvesszővel, előjellel és mértékegységgel ellátva jelenítik meg.
- pontosabbak, felbontóképességük és érzékenységük nagyobb, mint az analóg műszereké
- használatuk közben szubjektív leolvasási hibák nem keletkezhetnek

A digitális elven működő mérőműszerek nem csak az alaptartományokban és nem csak kizárólagosan a villamos mennyiség mérésére lehet használni. Méréshatár-kiterjesztéssel és különféle érzékelőkkel/átalakítókkal más villamos és nem-villamos mennyiségek mérésére is alkalmassá tehetők. Ezért az így kialakított komplex elektronikus mérőműszereket *multiméter*eknek nevezzük. Jellegzetesen két megjelenési formában találkozhatunk velük:

- *asztali* – nagy méretű, nem igazán hordozható készülékek (viszonylag drágák, jó pontosság és felbontóképesség jellemzi őket, hálózati tápfeszültséget igényelnek)

- *kézi* – kis méretű, kézben könnyedén fogható, hordozható készülékek (viszonylag olcsók, elfogadható pontosság és felbontóképesség jellemzi őket – alakjuk alapján megkülönböztetjük a *klasszikus* kézit, a *toll alakú*t, a *zsebméretű*t)



zsebméretű



„toll” alakú



kézi, közepes méretű,
(az „olcsóbb” változat)



kézi, nagyobb méretű,
(a „drágább” változat)



asztali
változat

A legtöbb digitális multiméter olyan forgatható kiválasztó kapcsolóval van ellátva, amely a mérési funkció (mérni kívánt mennyiség típus – feszültség, áramerősség, rezisztencia, kapacitás, folytonosság, dióda, induktivitás, hőmérséklet, tranzisztor, elem stb.) és az annak megfelelő méréshatárok kiválasztását vagy átváltását teszi lehetővé.

Minden multiméter előlapján beazonosíthatók a 4 *mm*-es banándugóval ellátott mérőkábelek fogadását lehetővé tevő csatlakozópontok és a melléjük feltűntetett betűk és piktogramok – ezek megfelelői a forgó/kiválasztó kapcsoló segítségével beállítható helyzetek.



mérőkábelpár

A csatlakozópontok közül egyik a közös terminál (*COM*, olykor fekete színű gyűrűvel van ellátva – ide kerül a fekete mérőzsinór), a piros színű mérőkábel a szabadon maradt terminálok egyikébe kerül, annak függvényében, hogy mit kell mérni (olykor piros gyűrűs jelzéssel is

megkülönböztethetjük). Ezt a terminált szokták használni, ha feszültség, rezisztencia, tranzisztor, dióda, folytonosság, a kívánt mérendő mennyiség.

A kis és közepes áramok mérésére külön terminál szolgál és létezik még egy külön speciális kivezetés is a nagy áramok mérésére – itt általában a 200 mA-nél nagyobb áramerősségekről van szó, de kevesebb, mint 10 A vagy 20 A, ami a hagyományosan mérhető megengedett maximális áramerősség.

A multiméterrel együtt érkező gépikönyv részletes leírást és utasítást tartalmaz a műszer helyes használatának módjáról.

Egy digitális multiméter legfontosabb gyakorlati jellemzői *a felbontás*, az *érzékenység*, a *kijelzett számjegyek száma* és a *pontosság*. Ezek a paraméterek döntő tényezők lehetnek az adott alkalmazás számára legmegfelelőbb modell kiválasztásában.

A mérőműszerekről leolvasható érték nem egyezik meg a valóságos értékkel, a mért adatot hiba terheli.

A *pontosság* százalékban van kifejezve, akár az adott beállított mérési tartomány végső értékéből, akár az adott mért értékből számítandó. A kettő között jelentős a különbség, ezért a műszer adatlapját vagy kézikönyvét kell tanulmányozni és letisztázni, hogy melyikre van szükség a számításokhoz. A pontosság függ a mérendő mennyiség típusától – a szakmai gyakorlat nagyobb feszültségmérési pontosságot igényel, mint az általános elektromos tesztelés, és a váltakozó áramú mérések általában kevésbé pontosak, mint az egyenáramú mérések.

A *felbontás* az a legkisebb mért értékbeli eltérés, amelyet a multiméter még képes felismerni, a legkisebb helyi értéken kijelzett mennyiségként adjuk meg. A műszer különböző felbontásokkal és *érzékenység*ekkel rendelkezik a különböző mérési tartományokban. A felbontás általában elég nagy szokott lenni ahhoz, hogy jó eredményeket biztosítson a pontossági tartományon belül.

A kijelzett számjegyek („digitek”) száma megmutatja, hogy hány kisebb helyi értéken lesz „teljes értékű” digit kijelezve (0-tól 9-ig bármelyik) és a mi jelenhet meg a legnagyobb helyi értéken (0 vagy 1, esetleg 3 vagy 5).

A kijelzőn ezen kívül megjelenhet a „–” jel is, mintegy arra utalva, hogy a feszültség vagy áramerősség mérése fordított mérőzsinór bekötéssel történt. A „+” jel kijelzése nem szokott megtörténni, de szükségszerűen a tizedespont, az elem kimerültségi állapota vagy egyéb üzemi jelzések megjelenhetnek a kijelzőn. Ha a kijelzőn „*OL*” (*over limit*) vagy „ 1 ” (1-es számjegy) jelzés jelenik meg, ez „*túlcsordulás*”-t jelent, vagyis a mért érték meghaladja a mérési tartományra jellemző maximális értékhatárt. A mérés helyes, eredményes elvégzéséhez nagyobb méréshatár tartományt szükséges választani.

A viszonylag drágább és igényesebb műszerek kijelzőjén megjelenhet a vízszintes oszlopdiagram (*bar graph*) amely a mért mennyiség maximumának, illetve minimumának kijelzését könnyíti meg és segíti elő. Számérték kijelzésével és annak értékelésével (nagyobb, vagy kisebb, mint az előzőleg kijelzett érték) nehezebb boldogulni, mert az időigényes és bonyolultabb elektronikai megoldásokat igényel. A pontsorozatként megjelenő kijelző vízszintes vonal hossza arányos a mért értékkel, hosszának változása pedig könnyen megfigyelhető és leolvasható, a kisebb pontosságigény miatt a vezérlő elektronika is gyorsabb és egyszerűbb lesz.

A továbbiakban az Uni-T gyártó UT131C márkajelzésű kézi multiméter ellenállásmérési funkciójának jellemző adatai révén példáztatjuk az említett fogalmakat.

A gépkönyv szerint az ellenállásmérési funkció jellemző adatai:

Mérési tartomány	**Felbontás**	**Pontosság**
200,0 Ω	0,1 Ω	± (1 % + 2)
2000 Ω	1 Ω	± (0,8 % + 2)
20,00 kΩ	0,01 kΩ	± (0,8 % + 2)
200,0 kΩ	0,1 kΩ	± (0,8 % + 2)
20,00 MΩ	0,01 MΩ	± (1,2 % + 3)
200,0 Ω	0,1 MΩ	± (5,0 % + 5)

A multiméter kijelzője 3 ½ digites. Ez azt jelenti, hogy van 3 kisebb helyi értéke, ahol 0-tól 9-ig bármelyik számjegy megjelenhet és az első számjegy (a legnagyobb helyi érték) csak 0 vagy 1 lehet. Így a legkisebb kijelezhető érték „– 1999”, a legnagyobb pedig „1999” lesz (a „+” jelt nem szokták kijeleníteni). Amennyiben a műszer bemeneteire nem kerül semmi, a kijelzőn „000” jelenik meg. Tehát, mivel az „1999”-on kívül a 0000 is kijelenthető, a műszer kijelzője összesen 2000 számjegyet képes megjeleníteni.

Az adott mérési tartomány felbontását az alábbi képlet segítségével számíthatjuk ki:

$$felbontás = \frac{tartomány}{számjegyek\ száma}$$

A mérés pontosságát (maximális hibáját), a műszer adatlapja szerint, a leolvasott értékből és a bizonytalan számjegyek segítségével kapom meg:

$$h = leolvasott\ érték \cdot pontossági\ hiba\ (\%) + felbontás \cdot bizonytalan\ jegyek\ száma$$

Számítási példa: Mértünk meg egy 1 $k\Omega$-os ellenállást, természetesen a 2000 Ω-os mérési tartományt használtuk. Legyen a mért érték 994 Ω. A tartománynak megfelelő felbontás a táblázat alapján 1 Ω, a pontosság 0,8 % a mért értékből, a bizonytalan számjegyek száma 2.

Elvégzett mérésünk maximális hibája:

$$h = \pm\left(994\ \Omega \cdot \frac{0{,}8}{100} + 1\ \Omega \cdot 2\right) = \pm(7{,}952\ \Omega + 2\ \Omega) = \pm\ 9{,}952\ \Omega$$

ez azt jelenti, hogy a 994 Ω helyett a mért érték bármi lehet 994 Ω – 9,952 Ω = 984,048 Ω és 994 Ω + 9,952 Ω = 1003,952 Ω között.

A kiszámított maximális hiba

$$\frac{9{,}952\ \Omega}{1000\ \Omega} = 0{,}009952 = 0{,}9952\ \% \cong 1\ \%$$

eredő relatív hibát jelent, a műszer a mért érték körül

$$H = \pm\frac{1}{100} \cdot 994\ \Omega = \pm\ 9{,}94\ \Omega \cong \pm 10\ \Omega$$

hibasávot okoz. Amint észrevehető a kerekítések nem a legközelebbi értékhez történnek, hanem felfele, mivel másképp előfordulhat, hogy a hibát alul becsüljük.

4. A GYAKORLATI MUNKA MENETE. FELADATOK ÉS KÉRDÉSEK

- szemrevételezés és a használati útmutató segítségével tanulmányozzuk az asztali multimétert
- mérjünk meg az 1 kΩ-os ellenállásokat az asztali multiméter rezisztenciamérő funkciójának segítségével
- a méréseket végezzük el az összes lehetséges mérési tartományban és számítsuk ki méréseink maximális hibáját és hibasávját
- az eredmények alapján mit mondhatunk el a mérési tartomány kiválasztásáról?
- a stabilizált labortáp és az 1 kΩ / 1 W-os ellenállás segítségével mérjünk feszültséget és áramerősséget (figyeljünk oda az ellenállás melegedésére és terhelhetőségére!)
- végezzünk összehasonlító méréseket kézi multiméterrel is
- hasonlítsuk össze az asztali és a kézi multiméterek pontosságát
- végezzünk ezekben az esetekben is hibaszámítást
- mérések alapján becsüljük meg az LCR-T4 alkat teszter ellenállásmérési funkciójának pontosságát
- a multiméter váltakozófeszültség mérési funkciójával határozzuk meg a hálózati aljzat által szolgáltatott váltakozó feszültség effektív értékét és végezzünk hibaszámítást
- készítsünk részletes és kimerítő kiértékelő jelentést munkánkról

5. OLVASNIVALÓ

- http://www.editura.ubbcluj.ro/bd/ebooks/pdf/3039.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/LCR_T4.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/datasheets/passive_components/Carbon_film_resistors-SRPassives.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/+help/
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DP800_HU.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DM3058_DMM.pdf
- https://javalab.org/en/how-to-use-a-multimeter/

6. BEMUTATÓ VIDEÓK

- https://www.youtube.com/watch?v=jB9t8Un9dD4
- https://www.youtube.com/watch?v=qoQCgV9W1T8
- https://www.youtube.com/watch?v=4I_Ga2JDukg
- https://www.youtube.com/watch?v=eR0TM3eitNk
- https://www.youtube.com/watch?v=9mAOxH7El50

5. BEVEZETŐ MÉRÉSEK JELMEGJELENÍTÉSRE

1. A GYAKORLAT CÉLJA

Egy digitális oszcilloszkóp és egy jelgenerátor működésének megismerése, illetve helyes használatának elsajátítása

2. SZÜKSÉGES ESZKÖZTÁR

- oszcilloszkóp, jelgenerátor és mérőszondák

3. ELMÉLETI ALAPOK RÖVIDEN

Az *oszcilloszkóp* az elektronikai méréstechnika leggyakrabban használt, legsokoldalúbb készüléke. Felfogható úgy mint egy nagyon speciális voltmérő vagy multiméter. Egyik legrendkívülibb tulajdonsága az, hogy közvetlenül feszültség-idő függvényt vagy fázishelyzetet képes megjeleníteni a kijelzőjén. Úgy tekinthetünk rá, mint a periodikus jelek vizsgálatára legalkalmasabb készülék. Az oszcilloszkóppal megjeleníthető, és közvetlen vagy közvetett módon mérhető egyen- és váltakozó feszültség, idő és időkülönbség, fázis és fáziskülönbség, frekvencia. A mérendő eszközzel mindig párhuzamosan kell csatlakoztatni őket. Ugyanakkor az oszcilloszkópos vizsgálatok lehetőséget nyújtanak a jelalak torzulásának megfigyelésére, a jel egyen- és váltóáramú komponensének mérésére, a gerjedés és a felharmonikusok jelenlétének láthatóvá tételére. Többcsatornás készülékkel lehetséges több, általában kettő, három vagy négy időfüggvény egyidejű vizsgálata és összehasonlítása.

Az oszcilloszkópoknak két nagy csoportjuk van: az analóg és a digitális. A régebbi koncepciójú analóg oszcilloszkópok elsősorban csak megfigyelésre, a periodikus jelek megjelenítésére alkalmasak, de ugyanakkor használhatók igen egyszerű és kezdetleges mérések elvégzésére is. Memóriájuk és analóg-digitális átalakítójuk jellemzően nincs.

A digitális oszcilloszkópokkal a jelalakot nemcsak megfigyelni, hanem regisztrálni, tárolni is lehet, mert a műszer igen gyors analóg-digitális konverterrel (*ADC*) és a hozzá tartózó memóriával rendelkezik. A digitális oszcilloszkópok előnye, hogy egyszeri (tehát nem periodikus) jelalakok rögzítésére is alkalmas. Mivel a digitális technikából adódó különös lehetőség az, hogy a mért eredmények számok formájában állnak rendelkezésünkre, az oszcilloszkóp bemeneteire érkező jelekkel matematikai műveletek is végezhetők, és bizonyos értékek (pl. csúcsérték, idő stb.) a memóriából kiolvashatók.



← a Rigol DS1000Z oszcilloszkóp

Az elektronikai méréstechnikában alkalmazott jelgenerátorok olyan jelforrások, amelyek periodikus időfüggvényeket állítanak elő villamos feszültség formájában. Pontosabban fogalmazva feszültségalakokat állítanak elő, azaz a kimeneti osztó csak akkora impedanciával terhelhető, amely még nem befolyásolja jelentősen az osztó áramát.

A jelgenerátorokat három típusra oszthatjuk. A szakmai gyakorlat megkülönböztet függvény-, hang-, és impulzusgenerátorokat.



← a Rigol DG800 jelgenerátor

A *függvénygenerátor*ok által szolgáltatott jel legfontosabb jellemzői a *hullámforma* (vagy *jelalak*, ez lehet *DC* azaz egyenáram, illetve *szinusz-*, *háromszög-*, *négyszög-*, *fűrészfog* jel, *impulzus*), az *amplitúdó* (ez legtöbbször csúcstól-csúcsig értendő), a *frekvencia* (általában a 0,0001 Hz és 20 MHz közötti értéktartományban), illetve a *szinteltolás* („DC offset”, a jel elcsúsztatása egy adott feszültségértékkel).

Az úgynevezett *hanggenerátor*ok csak négyszög-, és szinusz jelet tudunk előállítani, és a frekvenciasávuk is korlátozott a 20 Hz és 200 kHz közötti értékekre. Egy *impulzusgenerátor* segítéségével szabályozható, ismétlődő frekvenciájú impulzusokat (rövid ideig tartó négyszögjeleket) lehet előállítani.

Egy vizsgált áramkör mérendő pontjain található jeleket alakhűen mérőszondák segítségével juttatják el az oszcilloszkóp bemeneteire. Ugyanazok a mérőszondák alkalmasak lesznek a jelgenerátor által keltett, időben változó jel alakhű csatlakoztatásához és beviteléhez.

A mérőszondák nagyon jó minőségű, rugalmas kis csillapítású koaxiális vezetőből készülnek. A mérőfej védőkupakos, kampós végű mérőfogóval és rugós mérőheggyel van ellátva, ez a középső vezetékhez („melegszál”-hoz) csatlakozik. A kupak eltávolítása felfedi a tüskeszerű mérőhegyet. A kábel árnyékolása (földelő vezetéke) kis krokodilcsipeszben végződik.



← az univerzális Rigol mérőszonda

Jellegzetesen 120 cm hosszúságuak, csillapításuk állítható (1:1 vagy 10:1 leosztással), jellegzetes impedanicájuk 50 Ω és BNC típusú csatlakozóval illeszthető az oszcilloszkóphoz vagy a jelgenerátorhoz.

4. A GYAKORLATI MUNKA MENETE. FELADATOK ÉS KÉRDÉSEK

- szemrevételezés és a használati útmutató segítségével tanulmányozzuk a digitális oszcilloszkóp és a jelgenerátor használatát
- mérőszondák segítségével kössük össze a jelgenerátor kimenetét és az oszcilloszkóp egyik bemenetével
- jelenítsünk meg az oszcilloszkóp kijelzőjén különböző jelformákat és mérjük meg azok jellemző adatait
- figyeljük meg hogyan befolyásolják az oszcilloszkóp és a jelgenerátor beállításai az oszcilloszkóp kijelzőn megjelenített jel alakját és jellemző paramétereit
- rögzítsük a mérési adatokat és a jelformát fénykép, illetve rajz formájában (szükség esetén használhatunk letölthető oszcilloszkóp kijelzőt is)
- mentsük el a megjelenített jelformákat oszcilloszkóp képernyőkép és adatállomány formájában
- készítsünk részletes és kimerítő kiértékelő jelentést munkánkról

5. OLVASNIVALÓ

- http://www.editura.ubbcluj.ro/bd/ebooks/pdf/3039.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DG800_WG.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DS1000Z_DO.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/+help/

6. BEMUTATÓ VIDEÓK

- https://www.youtube.com/watch?v=sTxLRaDAP8s
- https://www.youtube.com/watch?v=jubeCoCw7io

6. PASSZÍV ALKATELEMEK VIZSGÁLATA LCR-T4 TESZTERREL

1. A GYAKORLAT CÉLJA

Az LCR-T4 alaktelem teszter használatának begyakorlása és a passzív áramköri alkatelemek méréses beazonosítása. A névleges érték, az értéktűrés, illetve a különböző megadási módok (színkód, betűkód, bélyegzés) gyakorlati megismerése és helyes kiolvasásának megtanulása.

2. SZÜKSÉGES ESZKÖZTÁR

- grafikus, többfunkciós alkatelem teszter
- passzív áramköri alkatelemek (ellenállások, kondenzátorok, tekercsek)

3. ELMÉLETI ALAPOK RÖVIDEN

Az *Elektronika* tantárgy ismeretanyagának gyakorlati elmélyítését segítő áramkörök felépítésére passzív (ellenállások, potenciométerek, kondenzátorok, tekercsek és transzformátorok), illetve aktív (diódák, bipoláris és térvezérlésű tranzisztorok, műveleti erősítők, időzítők, stabilizátorok és logikai áramkörök) alkatelemekből álló gazdag készlet áll a hallgatók rendelkezésére. Ebből a készletből kell mindig kiválogatni, a gyakorlati útmutató alapján, a szükséges hozzávalókat.

Gyakran előfordul az, hogy bizonyos (egyszerűbbnek látszó) elektronikai feladatokat el lehet látni vagy meg lehet oldani félvezető alapú alkatelemek nélkül is. Ilyen (rész)feladat a jelek leosztása, elválasztása, csatolása vagy szűrése. *Passzív*nak nevezzük azokat az alkatelemeket, amelyeknek helyettesítő képében nem található sem áramgenerátor, sem feszültséggenerátor, csak villamos energiát fogyasztanak (disszipálnak) vagy raktároznak el. Az elektronikai gyakorlatban előforduló három passzív alkatelem az *ellenállás*, a *kondenzátor* és a *tekercs*. Az elektrotechnikában és az elektronikában mindháromnak igen fontos szerep jut.

A kizárólag csak passzív alkatelemeket tartalmazó áramköröket rendszerint előnyben részesítjük a felvezetős megoldásokkal szemben, mivel feladatellátásukhoz nem igényelnek tápfeszültséget, nagy a megbízhatóságuk, kisebb a zajszintjük stb. Ezen belül, ha a feladat megoldható csak ellenállásokkal, akkor nem használnak más alkatelemeket. Ha a feladat ellátásához szükség mutatkozik valamilyen reaktív alkatelemre is, először rendszerint kondenzátoros kivitelezést kell keresni. Mivel sokkal nagyobb a helyigényük és kereskedelmi áruk is, tekercseket csak akkor használnak, ha jelenlétük (áramköri hatásuk) ténylegesen nélkülözhetetlen.

Az *ellenállás* a leggyakrabban előforduló elektronikai alkatelem. Legfontosabb szerepe az áramerősség szabályozás, vagyis az, hogy jól meghatározott, megfelelő értékű elektromos rezisztenciát biztosítson az áramkör adott részén, szakaszán. A szabályozás során nem tárol töltést vagy energiát, csak a felvett elektromos teljesítmény egy részét átalakítja át hővé és azt sugárzással távolítja el (disszipálja), azaz adja át közvetlen környezetének.



← Ellenállások

*Elektromos rezisztenciá*nak (R) nevezzük egy elektromos vezető (ellenállás) két pontjára kapcsolt feszültség (U) és a vezetőn áthaladó áram áramerősségének (I) a hányadosaként értelmezett fizikai mennyiséget:

$$R = \frac{U}{I}$$

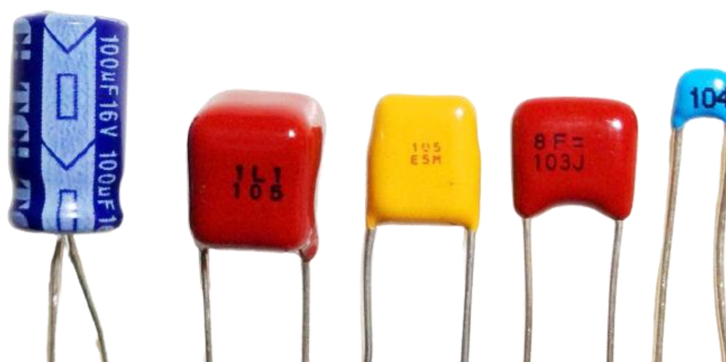
melynek SI- mértékegysége az ohm (jele az Ω).

Az 1 Ω rezisztencia viszonylag kis érték, a szakmai gyakorlatban meghonosodott értéktartomány a több tíz Ω-tól a $M\Omega$-ig terjed. Az ellenállás által időegység (t) alatt disszipált energia:

$$W = \frac{U^2}{R}t = I^2Rt$$

Egy ellenállás legfontosabb jellemzői a *névleges érték*, az *értéktűrés* és a *terhelhetőség*. A névleges érték és az értéktűrés a gyártási technológiából és a méretekből adódó rezisztencia, illetve annak pontossága, a terhelhetőség pedig a károsodásmentes hődisszipációval kapcsolatos információ. A gyártás utolsó fázisában a védőbevonatra az ellenállás értékét kódolva nyomtatják fel. A kód lehet egyszerű (számjegyekkel) vagy bonyolultabb (színkód).

Az ellenállások után a *kondenzátor* az elektronikus áramkörök talán második leggyakrabban alkalmazott alkateleme.



← Kondenzátorok

Legalább két egymással szembenálló és rendszerint szabályos alakú vezetőből (sík- vagy hengerfelületű fegyverzetből) és azokat egymástól elektromosan elszigetelő anyagból (dielektrikumból) épül fel, általános feladata pedig a villamos tér létrehozása, az elektromos energia elraktározása a fegyverzeteken történő elektromos töltések tárolása révén. A kondenzátoron a fegyverzetekre kapcsolt feszültség hatására a feszültséggel arányos töltésmennyiség halmozódik fel, a töltés (Q) és a feszültség (U) viszonyával kifejezett pozitív mennyiség neve kapacitás (C):

$$C = \frac{Q}{U}$$

melynek SI- mértékegysége az farad (jele az F).

Bár ma már lehet kapni a szakkereskedelemben akár 22 F kapacitású kondenzátorokat is, 1 F kapacitás borzasztó nagy értéknek számít, ezért a szakmai gyakorlatban meghonosodott értéktartomány leginkább a pF … μF nagyságrendű kapacitásokat fedi le. ía feltöltött kondenzátorban felhalmozódott energia:

$$W = \frac{1}{2}CU^2$$

A kondenzátorok szabványos értékeit szintén az IEC/EN 60063 szabvány szerinti E sorokkal határozzák meg, az értékszintet pedig pF, nF vagy μF egységekben fejezik ki. A kondenzátorok esetén egyaránt alkalmazzák a számkódos (bélyegzett) vagy a színkódos értékmegadást is. A nagyobb fizikai mérettel rendelkező kondenzátorok esetén a kapacitás értékét és mértékegységét, illetve a tűrést és/vagy a névleges feszültséget rányomtatják az alkatelemre. Ha a mértékegység hiányzik, akkor az pF-ban értendő (polarizált kondenzátoroknál pedig μF-ban)!

A *tekercs* vagy a *transzformátor* az elektronikus áramkörök ugyanolyan nélkülözhetetlen és fontos eleme, mint az ellenállás vagy a kondenzátor, de mégis ritkábban találkozunk velük a nagyobb fizikai terjedelem és helyigény, illetve az integrálhatóság hiánya, a viszonylag költséges előállítás és a korlátozott alkalmazási területek miatt. Természetesen kivételt képeznek az erősáramú berendezések, illetve a gyengeáramú műszertechnika és a híradástechnika.



← Tekercsek

Tekercs alatt valamilyen hordozóra (tekercstestre vagy csévére) csavarmenet-szerűen tekeredő elektromos vezetőt értünk. Az egymás mellé került és érintkező menetek, illetve az egymásra feltekert menetrétegek között szigetelés (lakk, műanyag, papír stb.) van. Elsődleges szerepük az elektromos energiának mágneses tér formájában történő raktározása és felhasználása, de ugyancsak tekercseket használnak nem névleges értékű ellenállásként az egyenáramú áramkörökben.

A tekercs végei között a rajta átfolyó áram I áramerősségének változási sebességével arányos U feszültség jelenik meg, az arányossági tényező a tekercs *induktivitás*a (L):

$$U = L\frac{dI}{dt}$$

Az induktivitás SI-mértékegysége a *henry* (jele a H). A tekercsben felhalmozódott mágneses energia:

$$W = \frac{1}{2}LI^2$$

A szakmai gyakorlatban a különböző tekercsek induktivitásai a μH … H értéktartományban helyezkednek el.

A szakmai gyakorlatban ideális tekercs nem valósítható meg. Ohmikus veszteséggel mindig kell számolnunk, hiszen egy tekercsnek van két kivezetése és a felhasznált vezetőnek pedig van rezisztenciája. Ez a típusú vesztesség disszipált hő formájában távozik. Magas frekvenciákon az egyes menetek között fellépő szórt kapacitás is számottevő lehet. Ez a parazita kapacitás a tekercsek végződései között és az egyes menetek vagy menetrétegek között fellépő feszültségkülönbségnek feleltethető meg, így a tekercs rezgőkörökre jellemző viselkedést mutathat.

A tekercseket rezgőkörökben frekvenciameghatározásra, fojtótekercsként pedig a váltakozóáram áramerősségének szabályozásra használják. A leggyakoribb alkalmazással a transzformátorok esetén találkozunk. Ebben az esetben legalább két, egymással mágnesesen csatolt tekercsről van szó, ahol a teljesítményátvitel és átalakítás, az állandó értékű feszültség- vagy áramerősítés, illetve az erősítőfokozatok közötti váltóáramú csatolás vagy az impedanciaillesztés feladatát látják el. Legfontosabb jellemző adataik a menetszám, a tekercshossz, a menetfelület, az önindukciós tényező, a jósági tényező és a veszteségi ellenállás, ha tekercsekről van szó. A transzformátorok esetén a rendszerint megadott információk a menetszámáttétel, teljesítményszint, névleges primer, illetve szekunder feszültség és impedancia, veszteségek stb.

A gyakorlati valóságban a tekercsek tulajdonságai oly kevéssé ideálisak, és kivitelezésük (forma, felhasznált anyagok, jellemző értékek) annyira függ a felhasználás módjától, hogy a sorozatgyártásuk, illetve a kereskedelmi készletezésük is csak rendkívül szűk körben, az ú.n.

mikroinduktivitások esetén szokásos. Ezért leginkább csak a tekercsek készítéséhez szükséges szerelvényeket (csévetest, mag, rögzítő elem) és vezetékek kerülnek gyártásra, majd készletezésre, a konkrét tekercseket az adott alkalmazásokhoz egyedileg méretezik és készítik el. Transzformátorok esetén valamivel egyszerűbb a helyzet, mivel a szaküzletek készletezése lefedi a szakmai gyakorlat igényeit a teljesítményszint, illetve névleges feszültségek értékeinek figyelembevételével.

A tekercsek névleges értékmegadása esetén használatos úgy a bélyegzett, mint a színkódos módszer.

4. A GYAKORLATI MUNKA MENETE. FELADATOK ÉS KÉRDÉSEK

- szemrevételezéssel rendre azonosítsuk az elektronikus alkatelemeket, majd jegyezzük le a velük kapcsolatos információkat (alak, szín, méret, színkód vagy betűkód) és értelmezzük azokat
- az alkatelem teszter segítségével mérjük le ezeket a jellemzőket és rögzítsük az információkat fénykép formájában is
- minden esetben hasonlítsuk össze a mért értéket a színkódból vagy betűkódból következő értékkel és becsüljük meg az értéktűrést, majd vizsgáljuk felül annak nagyságát
- hasonlítsuk össze eredményeinket (ahol lehetséges) az adott alkatelem adatlapjában megadott hasonló információkkal
- szemrevételezéssel azonosítsuk be a színkódos jelöléssel megadott tekercset, határozzuk meg értékét, majd mérjük meg teszterrel
- méréseink alapján javasoljunk egy multiméterest mérési módszert a színkóddal jelölt ellenállás és tekercs megkülönböztetésére
- készítsünk részletes és kimerítő kiértékelő jelentést munkánkról

5. OLVASNIVALÓ

- http://www.editura.ubbcluj.ro/bd/ebooks/pdf/3039.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/LCR_T4.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/LCR-T4_pluto.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/datasheets/passive_components/
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/+help/

7. AZ RC PASSZÍV SZŰRŐK TANULMÁNYOZÁSA

1. A GYAKORLAT CÉLJA

Az *RC szűrő*, mint frekvenciafüggő négypólus elméleti és gyakorlati tanulmányozása, az alábbi szempontok figyelembevételével:

- az átviteli függvény gyakorlati felvétele és a jellemző adatok meghatározása
- a szűrőtípus felismerése az átviteli függvény frekvenciamenetének alapján
- az elméleti számolások és a gyakorlati mérések eredményeinek kritikus összehasonlítása

2. SZÜKSÉGES ESZKÖZTÁR

- grafikus, többfunkciós alkatelem teszter
- ellenállások (R = 1 kΩ, 10 kΩ, 100 kΩ)
- műanyag kondenzátorok (C = 1 nF, 10 nF, 100 nF)
- forrasztásmentes próbapanel és jumperkészlet
- oszcilloszkóp és jelgenerátor
- mérőszondák
- mérőtüskék

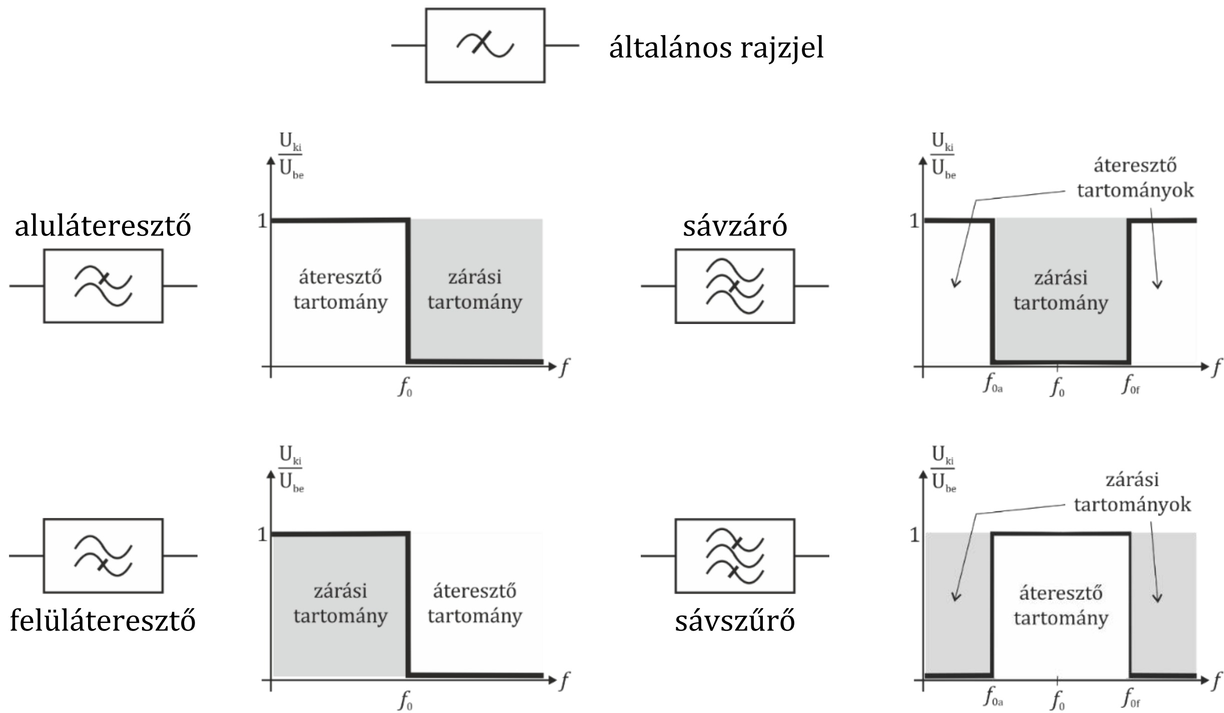
3. ELMÉLETI ALAPOK RÖVIDEN

A híradástechnikai áramkörök elméleti számításainál és tervezésénél szinuszos bemeneti jelet feltételezünk, mert a Fourier-féle tétel alapján minden periodikus jel felfogható különböző frekvenciájú, amplitúdójú és fázisú szinuszjelek összegeként.

A gyakorlati valóságban az áramkör bemenetére kerülő periodikus jel nem mindig egyetlen szinuszos jel, hanem több, különböző frekvenciájú szinuszjel összessége. Igen fontos gyakori feladat az, hogy ezeket a jeleket, még a feldolgozás és továbbítás vagy alkalmazások elött, frekvenciájuk szerint szétválasszuk. Ezt a fajta szétválasztást *szűrés*-nek nevezzük, a folyamatot megvalósító áramkört pedig *szűrő*-nek. A szűrők olyan (egyszerű vagy bonyolultabb) kapcsolások, amelyek a bemenetükre csatlakoztatott jel bizonyos frekvenciatartományba (áteresztő frekvenciatartomány) eső komponenseit csekély csillapítással (< – 3 dB) tovább engedik a kimenetre, míg minden más frekvenciájú (a záró frekvenciatartományba eső) jelt jelentősen csillapítják, azaz kiszűrik (a csillapítás > – 3 dB).

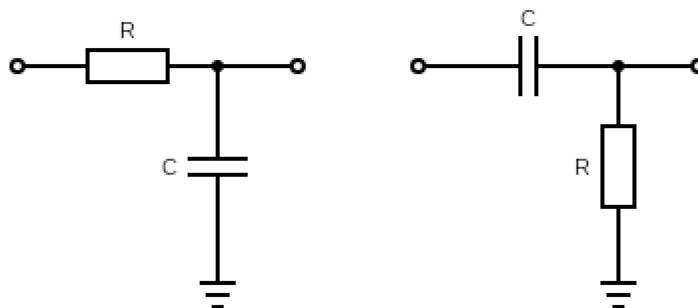
A szűrőáramkörök megvalósíthatók passzív áramköri elemek segítségével, legegyszerűbb formában ellenállások és kondenzátorok (RC szűrő), illetve ellenállások és tekercsek (RL szűrő) felhasználásával. Ezek az úgynevezett passzív szűrők. A megjelenő veszteségek csökkentése céljából lehet egyszerre kondenzátorokat és tekercseket is használni (LC szűrő). Szűrő kialakítható úgy is, hogy egy erősítő negatív visszacsatolást biztosító hálózatában frekvenciafüggő áramköri elemeket használnak. Ebben az esetben a veszteségeket az erősítő pótolja, ezért a visszacsatoló hálózatban lehet csak RC elemeket használni (ez azért előnyös, mert a tekercsek mérete és költsége nagyobb az ellenállásoké vagy kondenzátoroké). Az erősítőt is tartalmazó szűrőket aktív szűrőknek is nevezzük.

Figyelembe véve az áteresztő- és a záró frekvencitartományok viszonyát a négy legfontosabb szűrőtípus, rajzjelükkel és átvitelifüggvényük frekvenciamenetének elméleti alakjával az alábbi ábrákon látható:

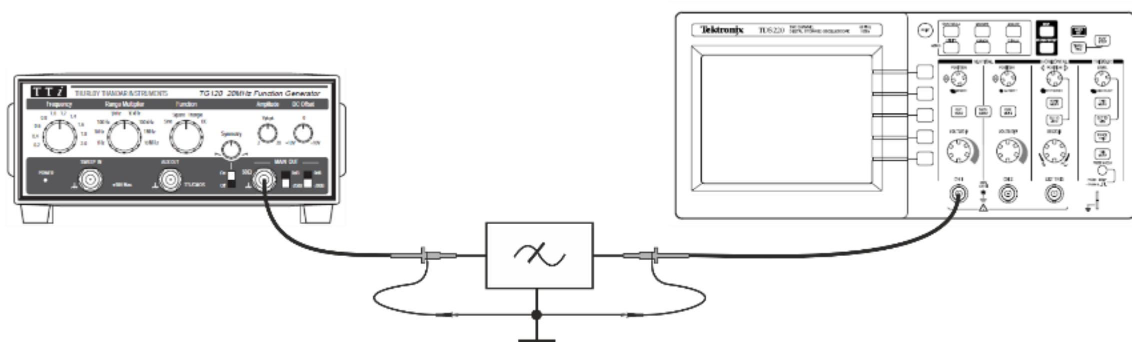


4. A GYAKORLATI MUNKA MENETE. FELADATOK ÉS KÉRDÉSEK

- szemrevételezéssel azonosítjuk az ellenállásokat, illetve a kondenzátorokat, majd tetszés szerint kiválasztunk közülük egyet-egyet és a teszteres méréssel meghatározzuk értéküket
- számítsuk ki a szűrőkre jellemző határfrekvenciák elméleti és gyakorlati értékeit (a gyakorlati értékeket a mért adatokból számoljuk, az elméleti értékeket a szemrevételezés eredményeként kapott feltüntetett névleges értékekből)
- mérőszondák segítségével kössük össze a jelgenerátort és az oszcilloszkópot, majd a jelgenerátornál kimeneti jelként szinuszjelt választunk és beállítjuk a feszültség kimeneti értékét 5 V-ra (csúcs-csúcs érték, állandó marad!)
- rendre elkészítjük a próbalapon az ábrán látható kapcsolásokat:



- mérőszondák segítségével rácsatlakoztatjuk a jelgenerátort a megépített szűrő bemenetére (a szűrő bemenete, a rajz síkjában, mindig baloldalt van!), a jobboldalon található kimenetre pedig oszcilloszkópot csatlakoztatunk:



- az oszcilloszkópon mérjük meg a kimeneti feszültség csúcs-csúcs értékét a bemeneti jel frekvenciájának függvényében mintegy 8 dekádon keresztül (legalább 5 mérést végezve minden dekádban – a határfrekvencia értékének szomszédságában sokkal több mérést érdemes majd végezni – vigyázzunk, hogy a jelgenerátor kimenetén ne legyen csillapítás!)
- ábrázoljuk a szűrő feszültségátvitelének frekvenciafüggését és szemrevételezéssel határozzuk meg a szűrő típusát
- készítsünk részletes és kimerítő kiértékelő jelentést munkánkról

5. OLVASNIVALÓ

- http://www.editura.ubbcluj.ro/bd/ebooks/pdf/3039.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/LCR_T4.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/datasheets/passive_components/
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/+help/
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/datasheets/breadboard+jumper/WBU-502L+J.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DG800_WG.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DS1000Z_DO.pdf

1. A GYAKORLAT CÉLJA

A félvezető diódák áram-feszültség karakterisztikáinak tanulmányozása (a jelleggörbék felvétele, a nyitó- illetve a könyökfeszültség és a diódák sztatikus és dinamikus ellenállásainak grafikus meghatározása, a különböző modellek felállítása és megrajzolása)

2. SZÜKSÉGES ESZKÖZTÁR

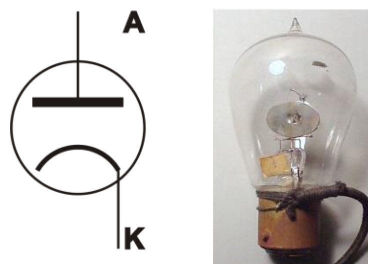
- félvezető dióda (PL12Z, 4V3Z, 5V6Z, 8V2Z, …)
- előtétellenállás (R = 1 kΩ / 1 W)
- forrasztásmentes próbapanel és jumperkészlet
- labortáp
- asztali multiméter és mérőzsinórok
- grafikus, többfunkciós alkatelem teszter
- mérőtüskék

3. ELMÉLETI ALAPOK RÖVIDEN

A dióda egy nemlineáris kétpólus, a kivezetései nem felcserélhető, azok elnevezése *anód* és *katód*.

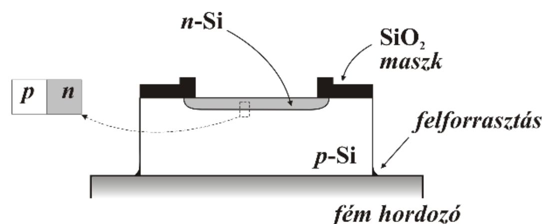
Felhasználva a Frederick Guthrie által kigondolt (1873) működési elvet, az első diódát 1904-ben készítette el az amerikai John Ambrose Fleming.

Mivel egy vákuumcsőbe zárt elektródpárosról volt szó, az eszköz neve *vákuumdióda* lett. Rajzjele és látképe a mellékelt ábrán van szemléltetve.



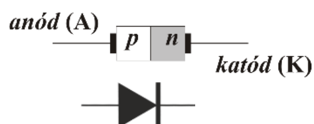
A félvezetőalapú dióda működési elvének megalapozása (1874) Karl Ferdinand Braun nevéhez kötődik, a gyakorlati megvalósítás – a megfelelő gyártási technológiák hiányában – az 1950-es évekig várakoztatott magára.

A *p-n* átmenet a különböző adalékoltságú félvezetők „találkozási helyén” alakul ki és különleges tulajdonságainak köszönhetően a félvezetőalapú klasszikus elektronika egyik alapköve. A találkozási hely, vagy más néven határfelület mindössze néhány μm vastagságú és tulajdonképpen az egyugyanazon félvezetőtömb különböző részeinek eltérő szennyezésével (adalékolásával) jön létre. Az átmenet planár technológiával előállított fizikai szerkezetét az alábbi ábra mutatja be:

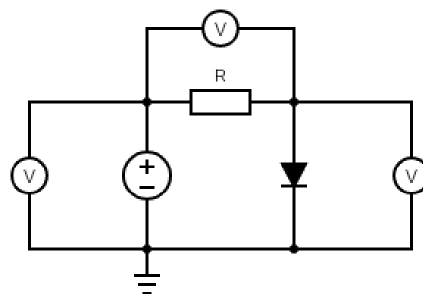


Az adott Si tömb egy részébe a gyártás során elektronhiánnyal rendelkező anyagot adalékolnak (például 3 vegyértékelektronos bórt) és így létrehozzák a lyuktöbblettel rendelkező *p* típusú félvezetőt, majd az *n* típusú félvezető anyag kialakítására elektrontöbblettel rendelkező, például 5 vegyértékelektronos foszfort diffundáltatnak bele.

Ha a p-n átmenet külső felületeit érintkezőkkel látják el az eredmény egy *félvezető dióda* lesz, a *p* típusú félvezető kivezetése az *anód*, az *n* típusú félvezető kivezetése pedig a *katód* nevet viseli:



A dióda belső felépítésének működéséből következik, hogy viselkedése függ majd a kivezetéseire csatlakoztatott feszültség polaritásától. Mivel a semleges *p* és *n* típusú zónák ellenállása elhanyagolhatóan kicsi, a feszültség teljes egészében a kiürített rétegre fog esni, tehát összegződni fog a kialakult potenciálgátnak megfeleltethető feszültséggel, ezáltal csökkentve vagy növelve azt.



A *nyitó irányú előfeszítés* alatt azt értjük, hogy a tápforrás pozitív sarka a *p* rétegre (anód) csatlakozik, a negatív sarok pedig az *n* rétegre (katód), ezért a külső és belső elektromos terek iránya ellentétes lesz és ennek következtében a potenciálgát csökkeni kezd.

Amikor a diódára eső feszültség eléri a nyitó feszültségnek megfelelő értéket (Si esetén ez 0,6 – 0,7 V), a potenciálgát zérus lesz és a dióda vezetni fog, a többségi töltéshordozók átjuthatnak az átmeneten, azaz a diódán áram fog átfolyni, kezdetben exponenciális, majd lineáris növekedést mutatva.

A dióda karakterisztikáját leíró exponenciális görbe egyenletét a

$$I_d = I_0 \cdot \left[exp\left(\frac{e \cdot U_d}{k_B.T}\right) - 1 \right]$$

kifejezés adja meg, ahol I_0 a kisebbségi töltéshordozók driftárama (gyakorlatilag a záróirányban folyó nagyon kis áram abszolút értéke, Si esetén 10^{-8} - 10^{-15} A nagyságrendű); I_d a diódán átfolyó áram, U_d a dióda feszültsége; e az elemi töltés ($1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C); T az abszolút hőmérséklet és k_B a Boltzmann állandó ($1{,}38 \cdot 10^{-23}$ J/K).

Nyitóirányú előfeszítés esetén ($U_d > 0$)

$$exp\left(\frac{e \cdot U_d}{k_B . T}\right) \gg 1$$

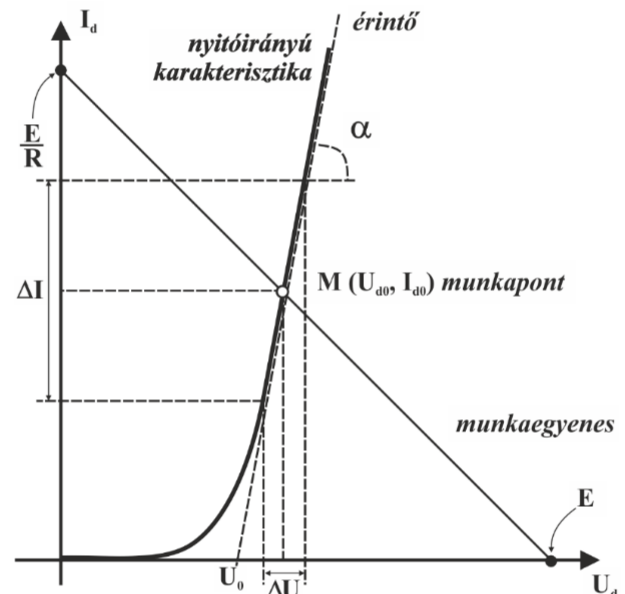
Ezért a diódán átfolyó áram áramerősség kifejezése az alábbi módon alakul:

$$I_d \approx I_0 \cdot exp\left(\frac{e \cdot U_d}{k_B \cdot T}\right)$$

Figyelembe véve a nyitóirányú előfeszítést biztosító áramkörre felírt Kirchhoff-féle huroktörvényt ($E = U_d + I_d \cdot R$), felírható a munkaegyenes egyenletét megadó összefüggés is:

$$I_d = -\frac{U_d}{R} + \frac{E}{R}$$

A mellékelt görbült formájú (nem lineáris) áram-feszültség karakterisztika miatt két diódaellenállást kell megkülönböztetni:



(a) az *egyenáramú ellenállás*-t, azaz a dióda kivezetésein mért feszültség és az annak hatására megjelenő (a diódán átfolyó) áram áramerősségének a hányadosát

$$R_0 = \frac{U_{d0}}{I_{d0}}$$

ahol U_{d0} és I_{d0} a munkaponti feszültség és a neki megfelelő munkaponti áramerősség.

Ez lesz úgynevezett *sztatikus* (munkaponti) *ellenállás*, mert a munkapont koordinátái (U_{d0} és I_{d0}) változatlanok maradnak mindaddig amíg a külső tápfeszültség és az áramerősség szabályozó ellenállás értékei nem változnak meg.

(b) a *differenciális ellenállás*-t, amely a dióda adott M munkapontjához húzható érintő iránytangensének a reciproka:

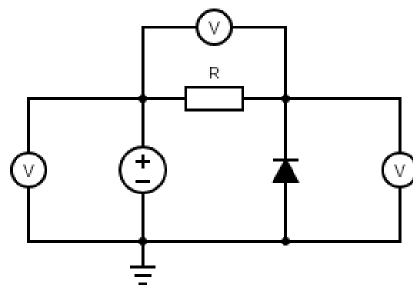
$$R_d = \frac{dU_d}{dI_d} = \frac{1}{tg\alpha}$$

ahol dU_d és dI_d a munkapont körüli feszültség- és áramerősség változások, $tg\alpha$ az érintő iránytangense, azaz:

$$tg\alpha = \frac{dI_d}{dU_d} = I_0 \cdot \frac{e}{k_B \cdot T} = \frac{11594{,}203}{T} \cdot I_d$$

Ezt a diódaellenállást még *dinamikus ellenállás*-nak is szoktuk nevezni.

A *záró irányú előfeszítés* alatt azt értjük, hogy a tápforrás pozitív sarka a *n* rétegre (katód) csatlakozik, a negatív sarok pedig az *p* rétegre (anód), így a külső és belső elektromos terek összeadódnak és a potenciálgát kiszélesedik, de a kisebbségi töltéshordozók egy része átjuthat az átmeneten és elhanyagolhatóan kicsi I_0 telítési záróáram jelenik meg (10^{-9} A nagyságrendű).



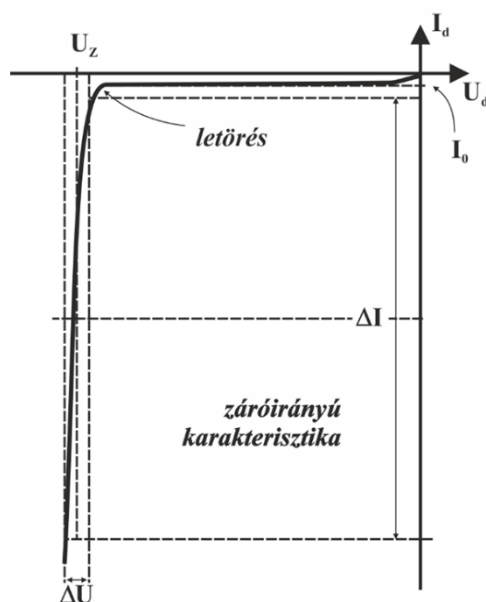
Ebben az esetben a diódán mérhető feszültség $U_d < 0$ és

$$\left(\frac{e \cdot U_d}{k_B.T}\right) \ll 1$$

ezért $I_d \approx -I_0$.

Ha a feszültséget tovább növeljük egy adott kritikus záróirányúfeszültség elérésénél (letörési feszültség, – 2 V és – 180 V közötti érték, a dióda felépítésétől függően) a dióda záróárama hirtelen megnő és viszonylag nagy áramok folynak a diódán nagyon kis további feszültségemelkedéssel. A letörésnek két oka van a Zener átütés (alagúthatás) és az ütközési ionizációnak köszönhető lavinasokszorozódás. A karakterisztika letörési szakaszát jellemző meredekség reciproka fogja meghatározni a Zener dióda differenciális ellenállását:

$$R_z = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

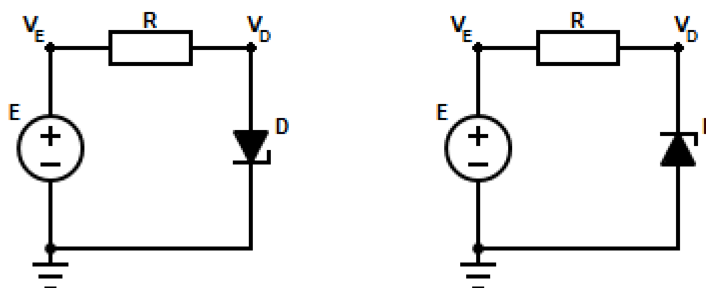


A gyakorlati alkalmazások esetén, a feszültségstabilizálás minőségét az úgynevezett bemeneti feszültségváltozás elnyomási tényezője (S) adja meg:

$$S = 1 + \frac{R}{R_Z}$$

4. A GYAKORLATI MUNKA MENETE. FELADATOK ÉS KÉRDÉSEK

- szemrevételezéssel azonosítjuk az ellenállást, illetve a diódát
- teszterrel mérjük meg az ellenállás pontos értékét
- multiméteres és teszteres méréssel beazonosítjuk a dióda kivezetéseit
- rendre elkészítjük a próbalapon a nyitó- és a záróirányú előfeszítést biztosító kapcsolásokat:



- legyenek a következő mérési pontok:
  V_E = a tápfeszültségnek megfelelő potenciál a referenciapont potenciáljához képest
  V_D = a dióda potenciálja a referenciapont potenciáljához képest
  referenciapont jelölése: ⏚ (a potenciálja = 0 V)
- a tápfeszültség értékét változtatva multiméterrel mérjük a feszültségesést az ellenálláson és a diódán
- nyitóirányú előfeszítés esetén, a 0 V – 1 V értéktartományban a a tápfeszültség változtatási lépése legyen minél kisebb (~ 0,1 V körüli), az 1 V – 15 V értéktartományban a változtatás léptéke lehet nagyobb (~ 1 V)
- záróirányú előfeszítés esetén a tápfeszültség változtatásának léptéke a letörés elött legyen 0,25 V, utána pedig 1 V („elméleti" letörési feszültségek: 4V3Z = 4,3 V; 5V6Z = 5,6 V; 8V2Z = 8,2 V)
- a mérések eredményeit táblázatba foglaljuk
- a diódaáramot az alábbi képlet alapján határozzuk meg:

$$I_d = \frac{V_E - V_D}{R}$$

  a feszültségesést pedig a

$$U_d = V_D - 0\,V$$

  képlet adja meg.
- nyitóirányú előfeszítésnél a mérési adatok (V_E, illetve V_D) és számítások (I_d) alapján ábrázoljuk a dióda nyitóirányú áram-feszültség karakterisztikáját $I_d = f(U_d)$, meghatározzuk a dióda nyitófeszültségét (U_0) és karakterisztikájának meredekségét ($tg\alpha$), majd meghatározzuk a dióda dinamikus (differenciális) ellenállását és megrajzoljuk a dióda reális (nulladik közelítésű) modelljét
- ugyanarra a grafikonra ábrázoljuk a munkaegyenest (egy az E tápfeszültség értéktartományából választott lehetséges értékére, pld.: E = 3 V), majd meghatározzuk a munkapont koordinátáit (U_{d0} és I_{d0}) és kiszámítjuk a dióda sztatikus ellenállását abban a munkapontban
- a nyitóirányú előfeszítés adataira próbáljunk illeszteni egy

$$f(x) = a \cdot exp(bx)$$

  alakú exponenciális függvényt melynek paramétereiből meghatározható lesz a *kisebbségi töltéshordozók driftárama* ($a = I_0$) és *az idealitási tényező*:

$$n = \frac{e}{b \cdot k_B \cdot T}$$

Megjegyzés: Az idealítási tényező, Si diódák esetén, jellemzően 2 körüli érték és megmutatja, hogy mennyire tér el (a kiürített rétegben lejátszódó diffúziós vagy generáló-rekombinációs, illetve injektáló jelenségek miatt) a valós, kísérletileg lemért karakterisztika az ideális dióda karakterisztikájától, melynél $n = 1$-nek tekinthető.

- záróirányú előfeszítésnél a mérési adatok (V_E, illetve V_D) és számítások (I_d) alapján ábrázoljuk a dióda záróirányú áram-feszültség karakterisztikáját, meghatározzuk a dióda letörési feszültségét (U_Z) és karakterisztikájának meredekségét ($tg\alpha$), majd meghatározzuk a dióda dinamikus (differenciális) ellenállását és a bemeneti feszültségváltozás elnyomási tényezőjét
- rajzoljuk meg a kapott adatokkal a dióda különböző működési modelljeit
- készítsünk részletes és kimerítő kiértékelő jelentést munkánkról

5. OLVASNIVALÓ

- http://www.editura.ubbcluj.ro/bd/ebooks/pdf/3039.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/LCR_T4.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/datasheets/active_components/
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/+help/
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/datasheets/breadboard+jumper/WBU-502L+J.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DP800_HU.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DM3058_DMM.pdf

9. A BIPOLÁRIS TRANZISZTOR KARAKTERISZTIKÁI

1. A GYAKORLAT CÉLJA

Egy npn típusú Si bipoláris tranzisztor jellegzetes karakterisztikáinak felvétele és tanulmányozása

2. SZÜKSÉGES ESZKÖZTÁR

- bipoláris tranzisztor (BC171, BC174, BC547, BC639, PN2222, …)
- forrasztásmentes próbapanel és jumperkészlet
- ellenállások (R_C = 1 kΩ, R_B = 100 kΩ)
- asztali multiméter
- labortáp
- grafikus, többfunkciós alkatelem teszter
- mérőtüskék

3. ELMÉLETI ALAPOK RÖVIDEN

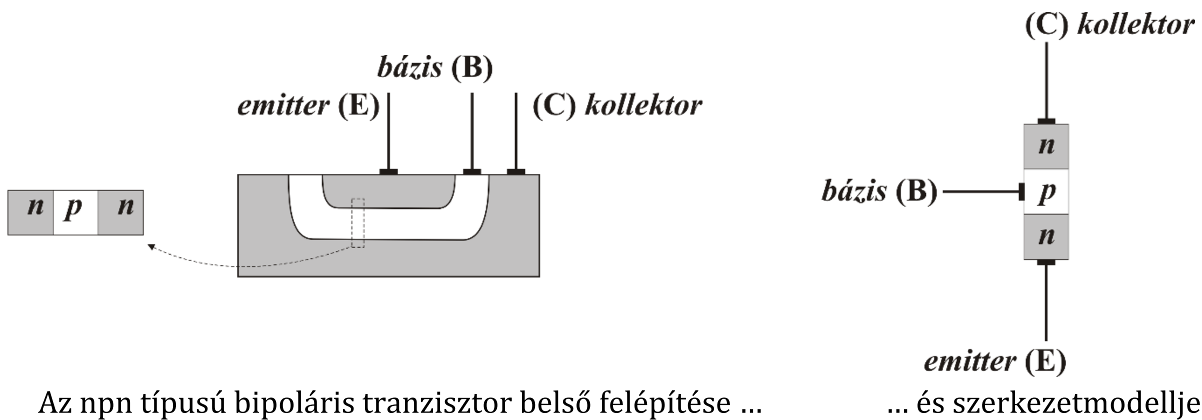
A bipoláris tranzisztorok olyan aktív, áramvezérelt félvezető alapú eszközök, amelyek segítségével megvalósítható az elektromos jelek erősítése, kapcsolása, illesztése, modulálása stb.

Történelmileg az első olyan félvezető alkatelemek, amelyek a segédáramkörben alkalmazott vezérlőjel hatására a főáramkör áramát fokozatosan vagy ugrásszerűen változtatni képesek. Elnevezésük az angol transistor szóból származik, amely a transfer és a resistor szavak összevonásának eredményeként született meg és ellenállásáttétel jelent. A bipoláris jelző arra enged utalni, hogy az áramvezetési mechanizmusban mindkét típusú töltéshordozó (lyuk és elektron) részt vesz.

Szerkezetüket tekintve 3 rétegű alkatelemek, azaz 3 egymást követő, eltérően szennyezett, félvezetőtartományból épülnek fel, vagyis két egymást követő (szomszédos) pn átmenetet hoznak létre, amelyben vagy az *n* vagy a *p* rész közös. Ennek következtében kétfajta bipoláris tranzisztort különböztetünk meg, ezeket npn és pnp típusú bipoláris tranzisztornak nevezzük.

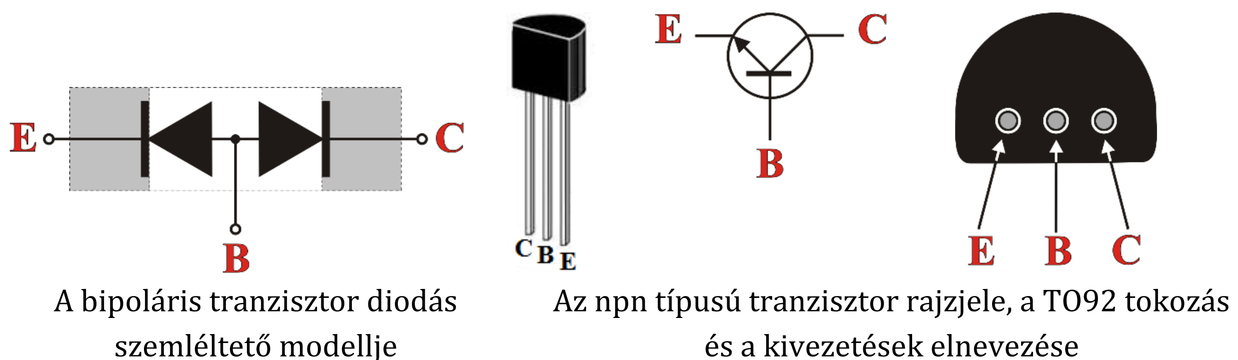
A tranzisztor rétegeinek, illetve kivezetéseinek elnevezése a latin nyelvből származik és tükrözi azok szerepét:

E (emitter) = a töltéshordozók forrása, kibocsátója (emittálója)
C (kollektor) = a töltéshordozók gyűjtője (kollektálója)
B (bázis) = a vezérlésre szolgáló, az alap.



Az npn típusú bipoláris tranzisztor belső felépítése … … és szerkezetmodellje

Látszólag két sajátosan elhelyezett diódával kialakított szerkezetről van szó, melynek jellegzetessége az, hogy mindhárom rétegnek külön csatlakozása van és a bázis vastagsága igen kicsi (kisebb, mint az emitter többségi töltéshordozóinak diffúziós hossza, ~ 10 μm), szennyezettsége pedig alacsonyabb, mint a másik két rétegé (az emitter adalékoltsága nagyságrendekkel nagyobb, mint a bázisé). Nyilván az egyes rétegek szennyezettsége nem feltétlenül homogén és a rétegeket elválasztó átmenetek nem szükségszerűen síkok. Az npn típusú bipoláris tranzisztor rajzjelét, illetve a TO92 tokozást és a kivezetések azonosítását az alábbi ábra szemlélteti.



A bipoláris tranzisztor diodás szemléltető modellje

Az npn típusú tranzisztor rajzjele, a TO92 tokozás és a kivezetések elnevezése

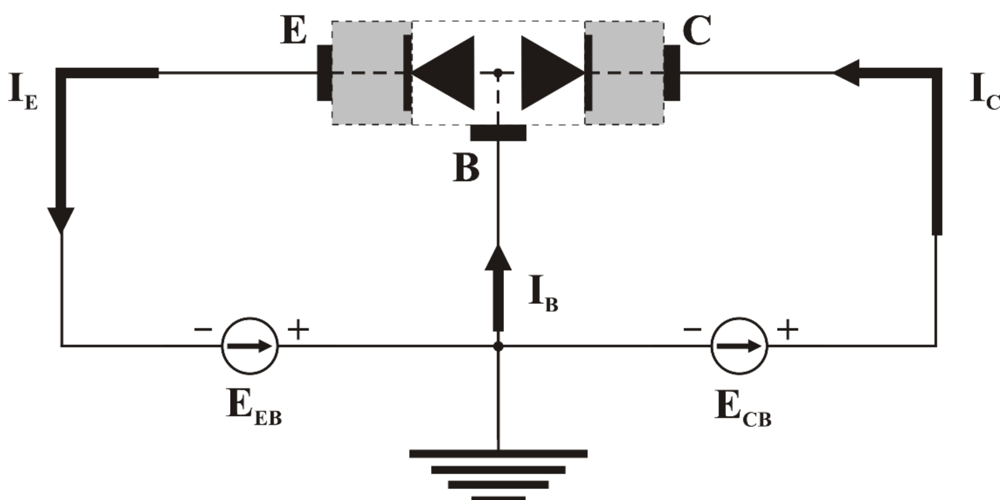
A valóságban egy bipoláris tranzisztor sokkal több, mint két dióda. Bár a geometriai felépítést szemléltethetjük a diódákkal, a működését nem. Legáltalánosabban a bipoláris tranzisztort “szabályozó szelepként” foghatjuk fel, amely egy bemenő áram erőssége alapján szabályozza a rajta átfolyó áram erősségét



nincs bázisáram ⇔ nincs kollektor áram van bázisáram ⇔ van (nagy) kollektoráram

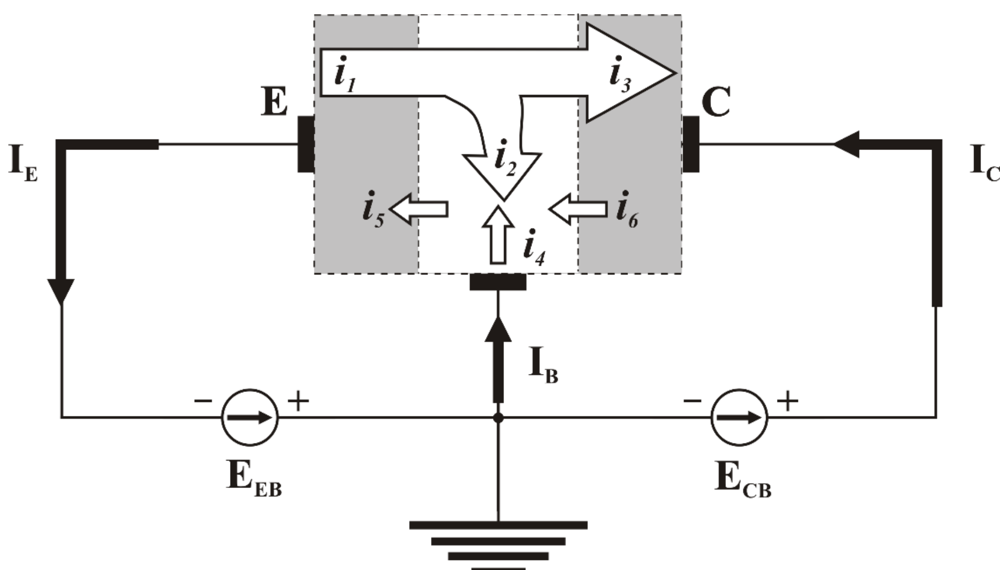
Ennek értelmében a tranzisztor a bázison keresztül vezérelt kapcsolóként fogható fel: ha a bázison keresztül nem folyik áram (azaz vezérlő jel), akkor az emitter és kollektor között sem fog, amennyiben a bázison keresztül áram folyik át, nagyságával arányosan fog áram folyni a kollektor és az emitter között is. Ez az áramerősítés hiányzik a diódákkal kialakított struktúrának a működéséből!

Mivel az emitter felelős a töltéshordozók kibocsátásáért, a bipoláris tranzisztor csak akkor fog működni, ha az képes lesz biztosítani azokat. A kétdiódás modell értelmében, az npn típusú bipoláris tranzisztoroknál ennek az a feltétele, hogy a modell emitter-bázis "diódája" nyitóirányú előfeszítést kapjon.



Az *npn* típusú bipoláris tranzisztor előfeszítése

A struktúra kollektor-bázis átmenete záróirányba van előfeszítve, ennek következtében a kollektor-bázis "dióda" nem vezet. A nyitóirányú előfeszítés lecsökkenti a bázis-emitter átmenetnél kialakult potenciálgátat és lehetővé teszi az elektronok áramlását az emitterből a bázisba, illetve a lyukakét a bázisból az emitterbe (i_1 illetve i_5 áramok).



Az *npn* típusú bipoláris tranzisztor jellegzetes áramai

A bázis fizikai méretei (vastagsága) igen kicsi (kisebb, mint az emitter elektronjainak diffuziós hossza), ezért az emitterből a bázisba jutó elektronok nagytöbbsége a kollektor-bázis átmenet szomszédságába kerül, de egy kis hányaduk (i_2 áram) rekombinálódik az i_4 lyukárammal. A záróirányba előfeszített kollektor-bázis átmenet "szívó" hatással lesz a bázis kisebbségi töltéshordozóira (az emitterből idejutott elektronokra) amelyek így átjutnak a kollektorba (i_3 áram) és ugyanakkor gyorsító hatással lesz a kollektor kisebbségi töltéshordozóira (a lyukakra), akik az i_6 maradékáram (I_{CB0}) formájában a bázisba jutnak át. Tehát a tranzisztor három főáramára a következő kifejezéseket kapjuk:

emitteráram: $I_E = i_1 + i_5$
kollektoráram: $I_C = i_3 + i_6$
bázisáram: $I_B = i_4 + i_5 - i_6 = i_4 + i_5 - I_{CB0}$

Mivel az emitteráramnak csak egy bizonyos hányada jut át a kollektorba ($i_3 = \alpha \cdot I_E$), a három főáram közötti kölcsönös viszonyra megkapjuk a *bipoláris tranzisztor alapegyenletét*:

$$I_C = \alpha \cdot I_E + I_{CB0}$$

A gyakorlatban I_{CB0} nagyon kicsi (alig nA vagy μA nagyságrendű) és elhanyagolható I_E –hez képest, ezért:

$$I_C \approx \alpha \cdot I_E$$

Az α együttható neve *közös bázisú áramerősítési tényező*, értéke pedig $\alpha = 0{,}9 \div 0{,}999$.

A bázist "csomópont" -nak tekintve (lásd a kétdiódás modellt) felírhatjuk a bipoláris tranzisztorra érvényes Kirchhoff-féle csomóponttörvényt, melynek értelmében:

$$I_E = I_B + I_C$$

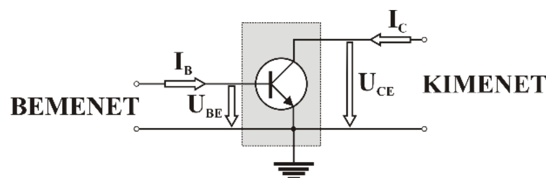
Ez a tranzisztoráramokra felírt csomóponttörvény és az alapegyenlet a következő összefüggést adja meg a vezérlő bázisáram (I_B) és a vezérelt kollektoráram (I_C) között:

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

A β együttható neve *közös emitterű sztatikus áramerősítési tényező*, értéke pedig $\beta = 10 \div 1000$. Ezt a diódás modell nem tudja szemléltetni! Látható, hogy:

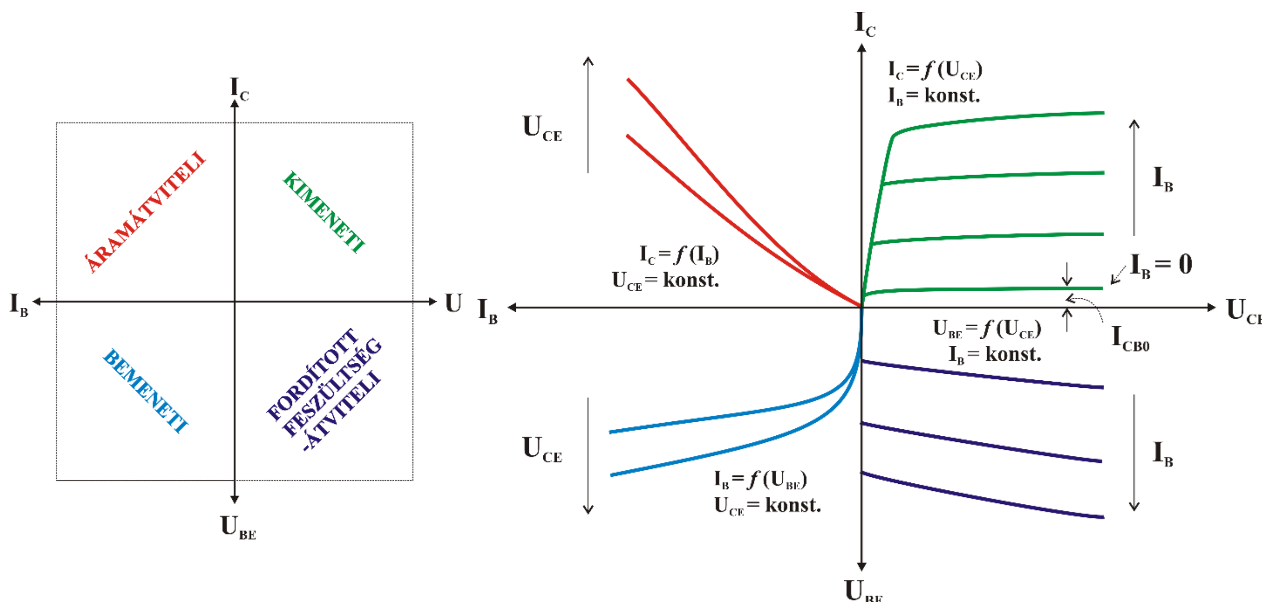
$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

A bipoláris tranzisztor jelleggörbéi a bemeneti és kimeneti áramok, illetve feszültségek közötti összefüggések grafikus ábrázolása. Ezek felvételéhez szükséges mennyiségeket az alábbi szemlélteti.



U_{BE} = bemeneti feszültség U_{CE} = kimeneti feszültség
I_B = bemeneti áram I_C = kimeneti áram

Négy paraméterezett görbesereg létezik: a kimeneti-, átviteli-, bemeneti- és fordított átviteli karakterisztikák – ezeket a derékszögű koordinátarendszer négy negyedében szokásos ábrázolni:



A bipoláris tranzisztor jelleggörbéi (öszvérkarakterisztikái)

A *kimeneti karakterisztikasereg* $[I_C = f(U_{CE})\,|\,I_{B\ =\ \text{állandó}}]$ U_{CE} kis értékeire közös ágból indulnak ki, majd nagyon széles értéktartományban lineáris viselkedést mutatnak és egy bizonyos határérték felett a kollektoráram telítődik.

Ha $I_B = 0 \Rightarrow I_C \neq 0$ mert bármilyen kicsi is legyen, létezik egy I_{CB0} maradékáram, amely folyamatosan tölti a bázist és így az előfeszített bázis – emitter átmenetben elektronok injektálódnak a bázisba.

Az *áramátviteli karakterisztikasereg* $[I_C = f(I_B)\,|\,U_{CE\ =\ \text{állandó}}]$ szinte teljes egészében lineáris.

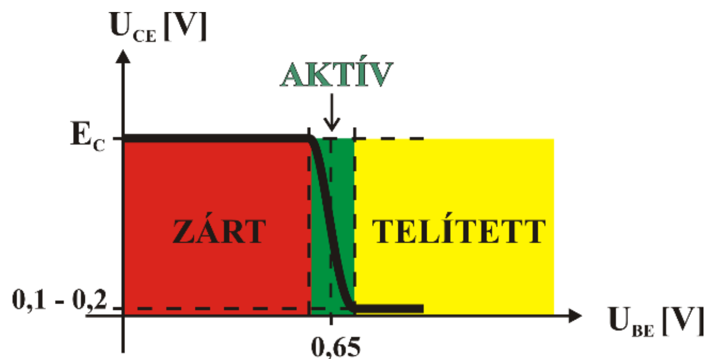
A *bemeneti karakterisztikasereg* $[I_B = f(U_{BE})\,|\,U_{CE\ =\ \text{állandó}}]$ a bázis – emitter “dióda” nyitóirányú viselkedésének következtében exponenciális, hasonlít a diódák áram-feszültség karakterisztikájához.

A *fordított feszültségátviteli karakterisztikasereg* $[U_{BE} = f(U_{CE})\,|\,I_{B\ =\ \text{állandó}}]$ jó megközelítéssel párhuzamosak az U_{CE} tengellyel.

A bipoláris tranzisztor kapcsolóként való viselkedésének megértését segíti elő a (*direkt*) *feszültségátviteli karakterisztika*:

$$U_{CE} = f\,(U_{BE})$$

amely egyúttal remekül szemlélteti a tranzisztor működési üzemmódjait.



A bipoláris tranzisztor feszültségátviteli jelleggörbéje

Észrevehető, hogy a bipoláris tranzisztor felfogható négypólusként is. A bemeneti és kimeneti jellemzők között felírt kölcsönös függvényrendszert *h* (hibrid) paraméterek esetén a következő módon írhatjuk fel:

$$\begin{cases} u_{bemeneti} = h_{11} \cdot i_{bemeneti} + h_{12} \cdot u_{kimeneti} \\ i_{kimeneti} = -\, h_{21} \cdot i_{bemeneti} + h_{22} \cdot u_{kimeneti} \end{cases}$$

Az egyenletrendszer megoldásai:

$$h_{11} = \left.\frac{u_{bemeneti}}{i_{bemeneti}}\right|_{u_{kimeneti}=0}$$

bemeneti ellenállás (~ 10^2 – 10^3 Ω)
(rövidrezárt kimenet esetén)

$$h_{12} = \left.\frac{u_{bemeneti}}{u_{kimeneti}}\right|_{i_{bemeneti}=0}$$

feszültségvisszahatás / feszültségvisszacsatolási tényező (~ 10^{-3} – 10^{-4})
(nyitott bemenet esetén)

$$h_{21} = -\left.\frac{i_{kimeneti}}{i_{bemeneti}}\right|_{u_{kimeneti}=0}$$

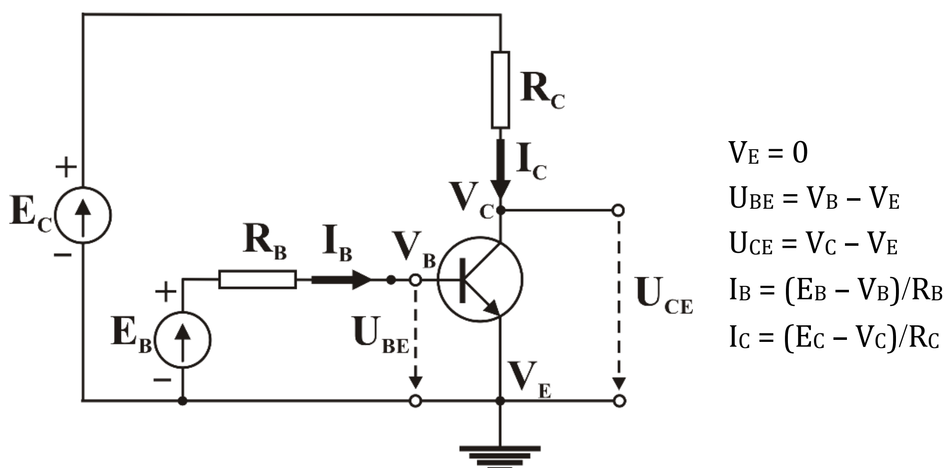
áramerősítési tényező (β, ~ 10^1 – 10^2)
(rövidrezárt kimenet esetén)

$$h_{22} = \left.\frac{i_{kimeneti}}{u_{kimeneti}}\right|_{i_{bemeneti}=0}$$

kimeneti admittancia (h_{22}^{-1}, ~ 10^5 Ω)
(nyitott bemenet esetén)

4. A GYAKORLATI MUNKA MENETE. FELADATOK ÉS KÉRDÉSEK

- szemrevételezéssel azonosítjuk az ellenállásokat és a tranzisztort
- teszterrel mérjük meg az alkatelemek névleges értékeit
- multiméteres és teszteres méréssel beazonosítjuk a tranzisztor kivezetéseit, majd meghatározzuk annak áramerősítési tényezőjét
- a szimulációs program segítségével elkészítjük a kapcsolást és ellenőrizzük működési helyességét
- elkészítjük az alábbi ábrán bemutatott kapcsolási rajzot:



$V_E = 0$
$U_{BE} = V_B - V_E$
$U_{CE} = V_C - V_E$
$I_B = (E_B - V_B)/R_B$
$I_C = (E_C - V_C)/R_C$

- a bemeneti- $[I_B = f\ (U_{BE}) \mid U_{CE} = 5\ \text{V}]$ és az áramátviteli $[I_C = f\ (I_B) \mid U_{CE} = 5\ \text{V}]$ karakterisztikák felvételéhez beállítjuk a kollektor-emitter feszültségesés értékét U_{CE} = 5 V-ra, majd E_B értékének folytonos állításával változtatjuk U_{BE} értékét 0,05 – 0,1 V lépéssel a 0 V ... 0,7 V értéktartományban (mérjük V_B-t !)

  Figyelem! Minden lépésnél le kell ellenőrizni az U_{CE} értékét és ha az nem 5 V, akkor E_C -t változtatva visszaállítjuk U_{CE} értékét 5 V-ra.

- a méréseket megismételjük U_{CE} = 10 V-ra is !
- az összes mérési eredményt táblázatba foglaljuk, a táblázat javasolt fejléce:

$U_{CE} = V_C - V_E$ [V]	$U_{BE} = V_B - V_E$ [V]	E_B [V]	$I_B = (E_B - V_B)/R_B$ [μA]	E_C [V]	$I_C = (E_C - V_C)/R_C$ [mA]

- a mérési adatok és számítások alapján ábrázoljuk a bemeneti- és az áramátviteli karakterisztikákat a II. illetve III. negyedbe
- a kimeneti karakterisztikasereg $[I_C = f\,(U_{CE}) \mid I_B = \text{állandó}]$ felvételéhez úgy választunk ki két bázis tápfeszültségértéket (E_B), hogy $I_B = (E_B - V_B)/R_B$ értéke, U_{CE} változtatásakor, állandó maradjon – ennek feltétele: $E_B \gg V_B$ (Pld.: 5 V és 10 V, >> 0,65 V!), E_C -t változtatva mérjük V_C értékét
  a mérések eredményét a mellékelt táblázatba foglaljuk, a táblázat javasolt fejléce:

E_B = 5 V, I_B = ... μA		
E_C [V]	V_C [V]	$I_C = (E_C - V_C)/R_C$ [mA]

Figyelem! A méréseket meg kell ismételni E_B = 10 V feszültségre is

- mérési adatok és számítások alapján a már meglévő grafikonra ábrázoljuk a kimeneti karakterisztikasereget
- próbáljuk meg kiszámítjuk a tranzisztor h_{11}, h_{21} és h_{22} hibrid paramétereit

- készítsünk részletes és kimerítő kiértékelő jelentést munkánkról

5. OLVASNIVALÓ

- http://www.editura.ubbcluj.ro/bd/ebooks/pdf/3039.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/LCR_T4.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/datasheets/active_components/
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/+help/
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DM3058_DMM.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/datasheets/breadboard+jumper/WBU-502L+J.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DP800_HU.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DG800_WG.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DS1000Z_DO.pdf

10. A BIPOLÁRIS TRANZISZTOR, MINT KISJELŰ ERŐSÍTŐ

1. A GYAKORLAT CÉLJA

Egy npn típusú Si bipoláris tranzisztorral elkészített, bázisköri feszültségosztóval előfeszített, emitterkapcsolású erősítőfokozat tanulmányozása

2. SZÜKSÉGES ESZKÖZTÁR

- bipoláris tranzisztor (PN2222A)
- forrasztásmentes próbapanel és jumperkészlet
- ellenállások (R_C = 1 kΩ, R_2 = 10 kΩ, R_1 = 47 kΩ, R_E = 330 Ω)
- elektrolitikus kondenzátorok ($C_{C,E,B}$ = 4,7 $\mu F/100\ V$)
- jelgenerátor, oszcilloszkóp és mérőszondák
- asztali multiméter
- labortáp
- grafikus, többfunkciós alkatelem teszter
- mérőtüskék

3. ELMÉLETI ALAPOK RÖVIDEN

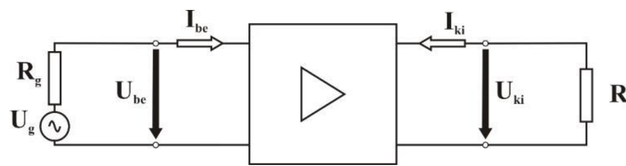
A bipoláris tranzisztor szerkezetéből és működési elvéből következően láthattuk, hogy az IB bázisáram és az IC kollektoráram közötti kapcsolat ($I_C = \beta \cdot I_B$) komoly áramerősség erősítésre utal (nagyságrendben ~ 10^2). Amennyiben nagyobb áramerősítésre van szükség, olyan kapcsolási megoldást alkalmazhatunk, amelyben 2 tranzisztor úgy van gyártásilag kialakítva egyugyanazon Si kristályon és ugyanabban a tokozásban, hogy az eredmény sokkal jobb áramerősítési tulajdonságokkal rendelkezzen (az áramerősítési tényező nem a két tényező összegével, hanem azok szorzatával lesz arányos, azaz eredő ~ 10^4). Az ilyen tranzisztorpárokat a szakirodalom Darlington-, illetve Sziklai pár néven tartja számon.

Nagyon sok gyakorlati helyzetben az elektromos jel olyan kis jelszintet képvisel, hogy az általa hordozott információ nem hasznosítható közvetlenül, ezért „használat” előtt a jelt fel kellene „emelni” arra a szintre, amit az adott gyakorlati alkalmazás megkövetelt. Ez a „felemelés” az elektronikában az erősítés nevet viseli, azt az elektronikus kapcsolást, amivel az erősítést megvalósítjuk *erősítő*-nek nevezzük.

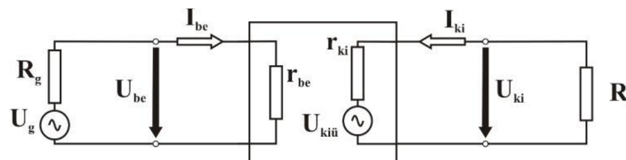
Legáltalánosabb esetben az erősítő egy aktív négypólus, amely képes a kimenetén a bemenetére kapcsolt elektromos jellel azonos frekvenciájú, megegyező hullámformájú (tehát nem torzított) és nagyobb teljesítményű (vagy feszültségű, illetve áramú) elektromos jelt szolgáltatni. Tehát, maga az erősítés nem más, mint egy jól megtervezett és szabályozott teljesítmény átalakítás.

Az erősítési feladat ellátására az erősítőt egyenfeszültséggel tápláljuk (tápfeszültség) amelyet egy külső energiaforrás szolgáltat (tápegység). Ez a tápegység által biztosított villamos energia fogja majd a kimeneti teljesítménynövekedést és a fellépő veszteségeket fedezni.

Egy meghajtással (generátor, elektromotoros feszültsége U_g, belső ellenállása R_g) és terheléssel (R_t) ellátott erősítőfokozat tömbvázlatát, illetve az erősítő elvi belső felépítését az alábbi ábrák szemléltetik:



Erősítőfokozat tömbvázlata



Az erősítő belső felépítése

Ha megvizsgáljuk a meghajtási viszonyokat, a generátorból az erősítő bemenetére jutó feszültség értéke az (r_{be}, R_g) *feszültségosztó* páros jelenléte miatt:

$$U_{be} = \frac{r_{be}}{r_{be} + R_g} \cdot U_g$$

Tehát a generátor feszültsége annál kevésbé osztódik le, minél inkább igaz az, hogy az R_g generátor-ellenállás elhanyagolható a bemeneti ellenállás mellett. Arra kell törekedni, hogy az erősítő bemeneti ellenállása sokkal nagyobb legyen, mint a meghajtó generátor ellenállása.

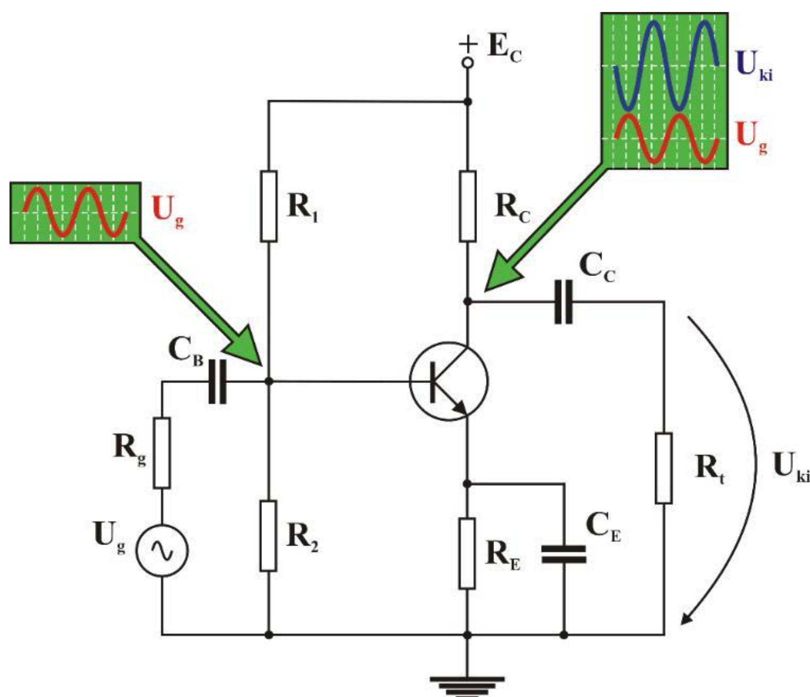
A terhelési viszonyok vizsgálatánál figyelembe kell venni, hogy az erősítő aktív négypólus, ezért a kimenet egy feszültséggenerátorral jellemezhető ($U_{kiü}$), terhelve az erősítőt az üresjárási kimeneti feszültség leosztott értéke jut a kimenetre:

$$U_{ki} = \frac{R_t}{r_{ki} + R_t} \cdot U_{kiü}$$

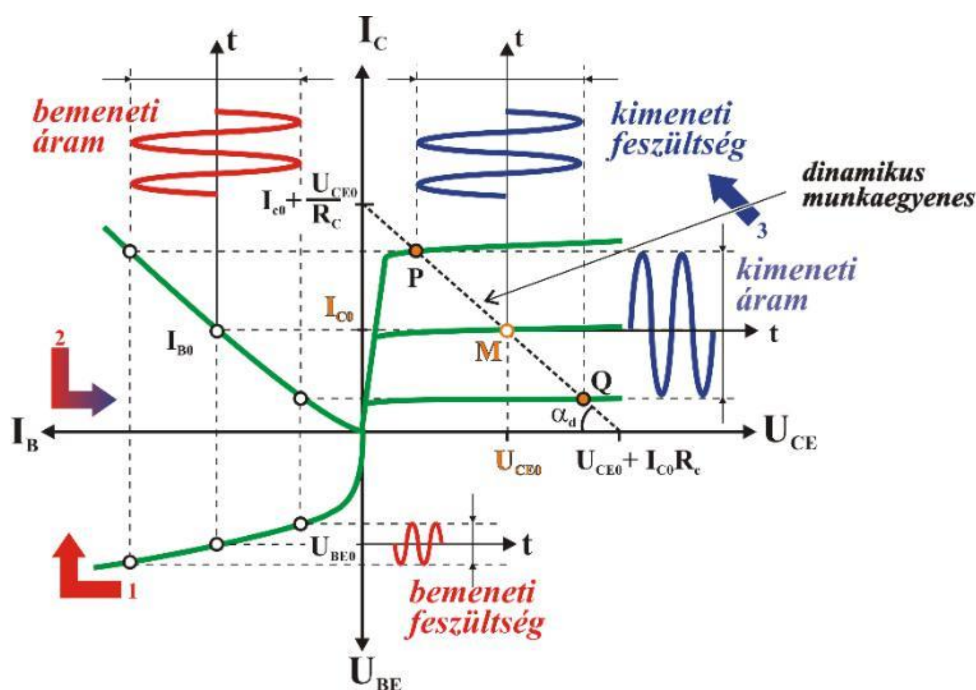
Tehát akkor jut a terhelésre az erősítő által felerősített jel nagy része, ha a terhelési ellenállás jóval nagyobb, mint az erősítő kimeneti ellenállása, vagyis a meghajtás szempontjából a nagy bemeneti ellenállású, a terhelés szempontjából pedig a kis kimeneti ellenállású erősítő a kedvező.

Ha a vezérlőjel nagysága legalább egy nagyságrenddel kisebb az egyenáramú beállítás feszültség-, illetve áramerősség értékeinél, akkor azt mondjuk, hogy az erősítő *kisjelű üzemmód*-ban működik (az esetek nagytöbbségében ez a jellemző üzemmód (a *nagyjelű üzemmód*-ot, amikor az erősítő lényegesen torzítja az erősítendő jel alakját. csak egyes speciális alkalmazások esetén használják).

Az egyik legegyszerűbb és leggyakrabban alkalmazott, bipoláris tranzisztor köré szerveződött erősítőkapcsolás a *bázisosztós munkapontbeállítású közös emitteres erősítőfokozat*. A fokozat kapcsolási rajzát, illetve az erősítés kialakulásának menetét az alábbi ábrák szemlélteti.



Az erősítőfokozat kapcsolási rajza



Az erősítés kialakulásának grafikus menete

A felhasznált alkatelemek (R_1, R_2 , R_C és R_B = a tranzisztor előfeszítésére és munkapontjának beállítására, C_B, C_C és C_E = csatoló- és leválasztó kondenzátorok) nagyságrendi kiválasztását és az erősítő méretezését az alábbi irányelvek segítik:

R_1 = $10^1 \div 10^2$ kΩ és R_2 max. 10 kΩ együttesen alkotják a bázisköri feszültségosztót, értékük minél nagyobb kell legyen azért, hogy a tápforrástól történő áramelszívás minél kisebb legyen, de ugyanakkor lehessen nyitni a tranzisztort ($U_{BE} \sim 0{,}65$ V), azaz R_1 -en átfolyó áram mintegy 10 % legyen az I_B bázisáram

R_E = $10^2 \div 10^3$ Ω (jellegzetesen ~ E_C / $10 \cdot I_C$), a fogyasztás céljából legyen minél kisebb, igen fontos szerep jut neki a tranzisztor termikus stabilizálás szempontjából (megakadályozza a hőmegfutást)

R_C < 10 kΩ -nek fogyasztó szerepe van, az alkalmazások szempontjából terhelési ellenállásnak is tekinthető

C_B a báziscsatoló kondenzátor, átengedi az erősítendő jelt, de megakadályozza, hogy a tápforrás egyenárama leosztódjon a bázisnál és a meghajtó jelgenerátorhoz jusson

C_C a kollektorcsatoló kondenzátor, átengedi a már felerősített jelt, de megakadályozza, hogy a kollektor-áram egy része leosztódjon a terhelés fele

C_E a emittercsatoló kondenzátor, az emitteráram számára megszakítást jelent (ez csak az R_E ellenálláson fog áthaladni) és a kisjelű változások szempontjából „hidegíti" (leföldeli, rövidre zárja) az emittert

A kondenzátorok értéke úgy lesz megválasztva, hogy a munkafrekvencián megjelenő kapacitív reaktanciájuk nagyon kicsi legyen (néhány Ω nagyságrendű, ez a μF-os értékeknek felel meg).

A fokozat feszültségerősítési tényezője a tranzisztor bemeneti ellenállásától (h_{11}) és áramerősítési tényezőjétől ($h_{21} = \beta$) illetve a kollektorellenállás értékétől (R_C) függ (a „ – " előjel 180°-os fázisfordítást igazolja):

$$A_U = -\frac{h_{21}}{h_{11}} \cdot R_C$$

4. A GYAKORLATI MUNKA MENETE. FELADATOK ÉS KÉRDÉSEK

- szemrevételezéssel azonosítjuk az ellenállásokat és kondenzátorokat, illetve a tranzisztort
- multiméterrel, LRC híddal vagy teszterrel mérjük meg az alkatelemek névleges értékeit
- multiméteres és teszteres méréssel beazonosítjuk a tranzisztor kivezetéseit, majd meghatározzuk annak áramerősítési tényezőjét
- a szimulációs program segítségével elkészítjük a kapcsolást és ellenőrizzük működési helyességét
- kikeressük katalógusból a tranzisztor bemeneti impedanciáját (h_{11}) és áramerősítési tényezőjét (β) – összehasonlítjuk azt, a teszterrel mért adattal!
- kiszámoljuk az erősítő várható feszültségerősítési tényezőjét
- a kapcsolási rajz alapján elkészítjük a bázisköri feszültségosztós, földelt emitteres erősítő kapcsolást kondenzátorok nélkül

- a kollektor tápfeszültséget (E_C) 10 V-ra állítjuk, majd multiméteres mérésekkel meghatározzuk a kapcsolás jellegzetes áramait és feszültségeit
- megismételjük méréseinket több tápfeszültség értékre is (5 V, 15 V), illetve megkeressük azokat az E_C értékeket, amelyekre a tranzisztor zárt vagy telített üzemmódba kerül
- visszaállítjuk a kollektor tápfeszültséget (E_C) 10 V-ra és behelyezzük a csatoló kondenzátorokat a megfelelő helyükre
- a jelgenerátor segítségével az erősítő bemenetére egy 10 kHz frekvenciájú és 10 mV amplitúdójú szinuszosan váltakozó feszültséget csatlakoztatunk
- az oszcilloszkóp csatornáin egyszerre jelenítjük meg a bemeneti és a kimeneti jelformát
- megfigyeljük a jelforma alakulását és leellenőrizzük a két jel közötti a fáziseltolódást
- meghatározzuk és lejegyezzük a feszültségerősítés értékét lineáris és logaritmikus skálán is
- megismételjük a méréseket és a feszültségerősítés számítását különböző frekvenciaértékekre (Pld.: *100 Hz*, *500 Hz*, *1 kHz*, *50 kHz*, *100 kHz*, *500 kHz*, *1 MHz*, *10 MHz*), majd ábrázoljuk az erősítő feszültségerősítésének frekvenciamenetét, azaz A_{UdB} -t a $log_{10}(f)$ függvényében
- a grafikonból meghatározzuk az erősítő sávszélességét (azon frekvenciák különbségét, amelyekre a feszültségerősítés 3 dB-lel kisebb, mint a maximális, azaz $0{,}707 \cdot A_{Umax}$)
- figyeljük meg és jegyezzük le (rajzoljuk le) a 10 kHz-es jel hullámformájának alakulását akkor, amikor a szinuszosan változó jel amplitúdóját növeljük vagy az adott állandó bemeneti jelszinten változtatjuk a kollektor tápfeszültséget (5 V, 15 V)
- figyeljük meg mi történik, ha az emitter csatolási kondenzátorát (C_E) kiiktatjuk – jegyezzük le megfigyelésünket és méréseinket (legalább egy mérést végezzük kondenzátorral és anélkül – 10 kHz frekvenciájú és 10 mV amplitúdójú szinuszosan váltakozó jelre)
- készítsünk részletes és kimerítő kiértékelő jelentést munkánkról

5. OLVASNIVALÓ

- http://www.editura.ubbcluj.ro/bd/ebooks/pdf/3039.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/LCR_T4.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/datasheets/passive_components/
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/+help/
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DM3058_DMM.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/datasheets/breadboard+jumper/WBU-502L+J.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DP800_HU.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DG800_WG.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DS1000Z_DO.pdf

11. TÉRVEZÉRELT TRANZISZTOROK KARAKTERISZTIKÁI

1. A GYAKORLAT CÉLJA

Egy Si alapú, záróréteges, n csatornás térvezérlésű tranzisztor jellegzetes karakterisztikáinak felvétele és tanulmányozása

2. SZÜKSÉGES ESZKÖZTÁR

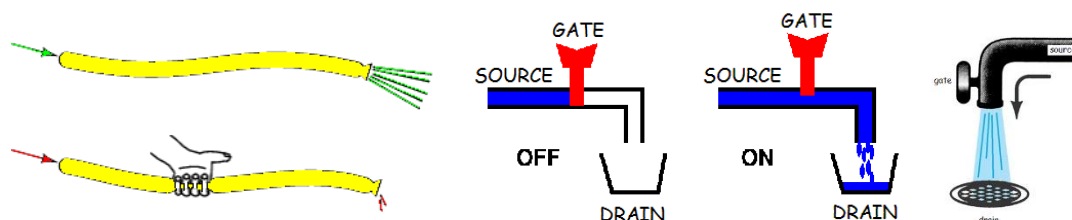
- térvezérlésű tranzisztor (BF245)
- forrasztásmentes próbapanel és jumperkészlet
- ellenállások (R_D = 1 kΩ, 47 kΩ)
- asztali multiméter
- labortáp
- grafikus, többfunkciós alkatelem teszter
- mérőtüskék

3. ELMÉLETI ALAPOK RÖVIDEN

A térvezérelt (térvezérlésű) tranzisztorok működése alapvetően különbözik a (bipoláris)tranzisztor működésétől (rövidítése az angol nyelvből származik: *FET = Field Effect Transistor*). Egy „unipoláris” eszközről van szó, hiszen működésükben csak egy fajta töltéshordozónak (tehát csak az elektronnak vagy lyuknak) jut szerep.

Elnevezésük arra utal, hogy az eszköz vezérléséhez nem áram, hanem (elektromos) tér, azaz feszültség szükséges: a tranzisztoron átfolyó áramot a vezérlőelektródájukra kapcsolt feszültséggel vezérelt villamos térrel lehet befolyásolni.

A működés (vezérlés) hasonlítható az elszorított gumistömlőhöz (a szabadon áramló víz mennyiségét az elszorítás következtében megváltozott keresztmetszet befolyásolja) vagy a hagyományos nyitott/zárt vízcsaphoz.



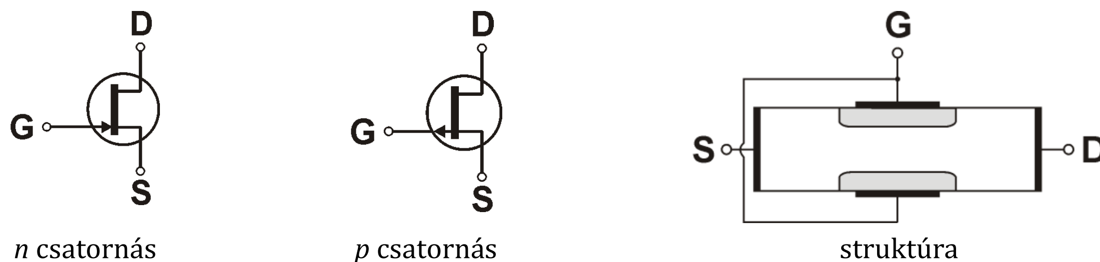
Elektronikai szempontból a működés a legegyszerűbben úgy érthető meg, ha a FET-eket változó keresztmetszetű ellenálláshuzaloknak tekintjük, ahol a vezeték (csatorna) keresztmetszetét (és ezzel az ellenállását) elektromosan állítjuk (a változó ellenállás állandó feszültségre kapcsolva, változtatja a csatorna áramat is). Tehát egy térrészen (félvezetőn) átfolyó áramot úgy szabályozunk, hogy külső elektromos erőtérrel megváltoztatjuk a félvezető vezetőképességét, ill. az áramvezetés szempontjából rendelkezésre álló keresztmetszetet

Konstrukciós és egyben működési szempontból két fő csoportra oszthatjuk őket (ehhez hozzáadódik mint extra osztályozási kritérium a homogén módon szennyezett félvezető kristálytömb többségi töltéshordozóinak típusa – *n* vagy *p*). Így megkülönböztethetjük a záróréteges (JFET) és a szigetelőréteges (MOSFET) térvezérlésű tranzisztorok csoportjait.

A két típus közös tulajdonságai:

- elhanyagolhatóan kis bemenő áramok
- kis teljesítményigény
- kis helyigény, ami miatt könnyen integrálhatóak
- mivel a többségi töltéshordozók árama határozza meg a működést, kisebb a hőmérsékletfüggés

A záróréteges térvezérlésű tranzisztorok kiürítéses elven működnek, egyezményes rajzjeleiket és elvi felépítésüket az alábbiakban szemléltetjük:



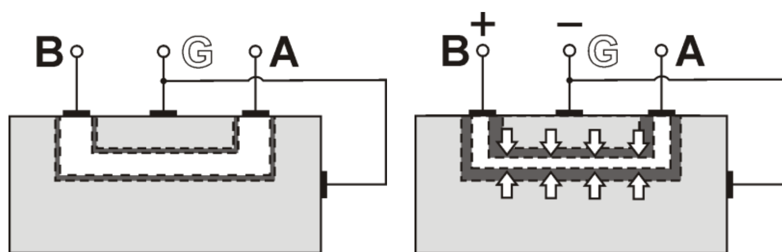
n csatornás   *p* csatornás   struktúra

A félvezető dióda tárgyalásánál szokták hangsúlyozni, hogy a *záró irányban előfeszített pn átmenet feszültséggel vezérelhető kapacitás*ként működik: minél nagyobb a zárófeszültség, annál szélesebb lesz a kiürített réteg, így annál távolabb kerülnek egymástól a *p* és *n* réteg szabad (többségi) töltéshordozói, ezzel mintegy nő a távolság a kondenzátor „fegyverzetei" között és ezért csökken az eszköz kapacitása is.

Két egymással szemben elhelyezett *pn* átmenet záróirányba előfeszítve *vezérelhető ellenállás*ként is felhasználható (az „ellenálláshuzal" keresztmetszete lesz változtatható a feszültség segítségével).

Az eszközben két *p* réteg között egy *n* réteg helyezkedik el, a két *p* rétegen, valamint az *n* réteg (az ún. *csatorna* = *channel*) két végpontján rezisztív kivezetéseket helyeznek el. A két *p* réteghez tartozó kivezetéseket összekötve képezik a vezérlő elektródát (*kapu* = *gate* jele: *G*), a vezérelhető ellenállás a csatorna végpontja között jelentkezik.

Ha a vezérlő elektródára az „A" végponthoz képest 0 feszültséget adunk, a *pn* átmeneteken csekély szélességű kiürített réteg alakul ki, ezért a csatorna szabad keresztmetszete viszonylag nagy, két végpontja közötti ellenállás pedig kicsi.



A vezérlő elektródára (G) kis zárófeszültséget kapcsolva, a kiürített réteg szélessége elkezd megnőni, a csatorna keresztmetszete csökken, ezért ellenállása megnő. A vezérlő elektródára kapcsolt zárófeszültséget növelve a kiürített réteg egyre szélesedik, és egy, az eszközre jellemző U_p vezérlő feszültségnél már a csatorna teljes keresztmetszetét elzárja. Ekkor „A" és „B" pont között nem folyhat áram, az ellenállás gyakorlatilag végtelen mert a csatorna elzáródott. A csatorna ellenállását tehát a vezérlő elektródára kapcsolt feszültséggel lehet változtatni; a vezérlő feszültség a kiürített réteg szélességét/átmérőjét befolyásolja ($R \sim d/S$)

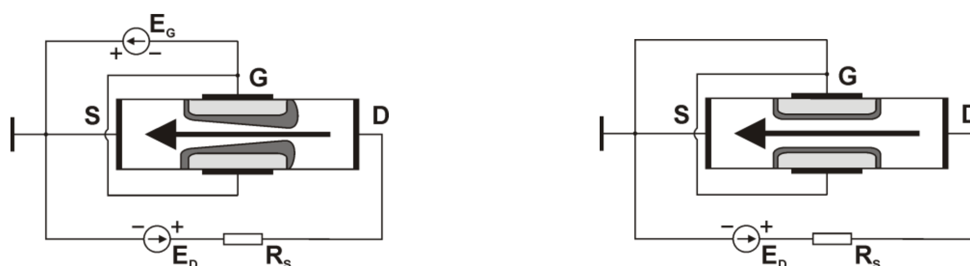
Célszerű, ha a kiürített réteg inkább az ellenállást képező csatornába nyúlik be, ezért gyártáskor a csatornát igen gyengén, míg a vezérlő elektródát erősen adalékolják. Az eszköz jellegzetes lezáró feszültsége $U_p = 1 \div 7$ V, a csatorna ellenállása pedig a 0 vezérlő feszültségnél érvényes kb. 100 Ω-tól az elzáródáskor megjelenő több MΩ-ig terjedhet.

Ha a csatornán áram folyik, a csatorna ellenállásán feszültség esik – ha ez a feszültség nem hanyagolható el az elzáródáshoz tartozó U_p feszültséghez képest, akkor a csatorna mentén a feszültség az „A" és „B" pont között változik, ennek megfelelően változik a csatorna és a vezérlő elektróda közti lezáró feszültség is.

Mivel a „B" pont az áramot szolgáltató elektróda, ezért elnevezése FORRÁS (SOURCE, *S*) és a bipoláris tranzisztorok emitterjének lesz a megfelelője. Az „A" végpont szerepe az áram „befogadása". A neki megfeleltetett elektród a NYELŐ (DRAIN, *D*), szerepe pedig a bipoláris tranzisztor kollektorjának a szerepéhez hasonló.

Az eddigiek alapján belátható, hogy a záróréteges FET elnevezést az indokolja, hogy a *G* kapuelektródát az forrás és a nyelő közötti "vezető" csatornától a kiürített (záró) réteg választja el.

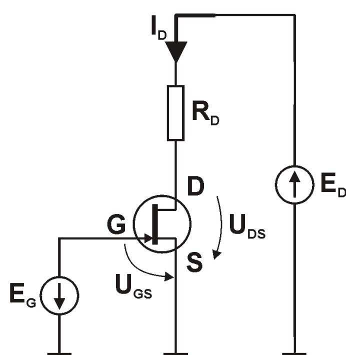
Észrevehető, hogy ha $U_{GS} = 0$ ($E_G = 0$), a csatorna a legszélesebb, így ellenállása a legkisebb, ezért ekkor folyik majd át rajta a legnagyobb áram (ez a telítési vagy szaturációs áram, I_{DSS}).



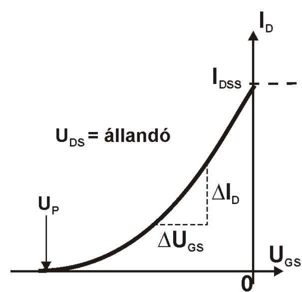
Ha növeljük a kapu és a forrás közötti záróirányú potenciálkülönbséget, a csatorna kezd "elszorulni" mivel a zárórétegek kiszélesednek és állandó nyelő-forrás feszültség mellett (U_{DS}) a csatornán átfolyó I_D áram csökkenni kezd. Egy adott U_{DS} feszültség hatására a csatornán áram indul meg, a csatorna mentén eső U_{DS} feszültség miatt a kiürített réteg változó vastagságú lesz. Ha elérjük az $U_p = U_{GS}$ (*pinch off*/*elzáródási*, *beszűkülési*, *lezáró*-) feszültséget a csatorna elzáródik.

Ha a csatornára kapcsolt U_{DS} feszültség nagyobb, mint az U_P lezáródási feszültség, a kiürített réteg és az elzáródott tartomány a nyelő fele kezd eltolódni, teljesen elszigetelve a nyelőt a csatornától és az eszköz többi részétől, ezért a kívülről rákapcsolt feszültség további növekedése már nem tudja befolyásolni a csatorna szélességet, illetve az áramot és ennek következtében az átfolyó áramnak stabilizálódni kell.

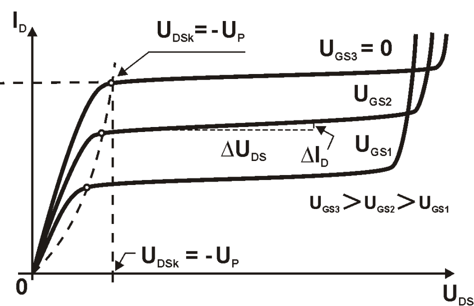
Nagyon nagy U_{DS} feszültségek hatására megjelenhet a töltéshordozók lavinaszerű sokszorozódásának köszönhető átütés, amely az áramerősség ellenőrizhetetlen megnövekedését vonja maga után.



mérőáramkör



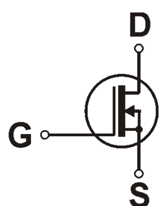
transzfer karakterisztika



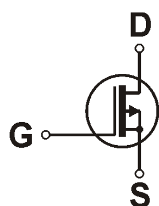
kimeneti karakterisztika

A transzfer karakterisztika matematikai megközelítését az $I_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P}\right)^2$ egyenlet adja.

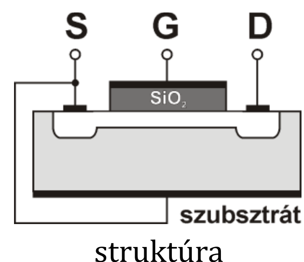
A szigetelőréteges térvezérlésű tranzisztorok legfőbb jellemzője az, hogy a kaput egy szigetelő SiO_2 réteg választja el a félvezető alaptól. Ez alatt található a csatorna, ha a kiürítéses változatról van szó vagy alatta képződik működés közben a csatorna, ha a tranzisztor növekményes típusú. Rajzjeleiket és elvi felépítésüket az alábbiakban mutatjuk be:



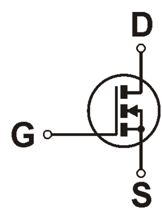
n csatornás



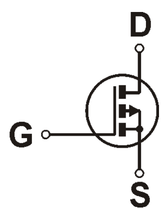
p csatornás



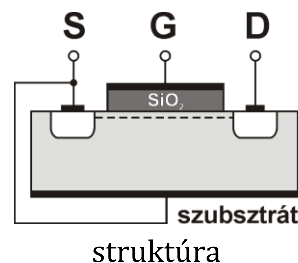
struktúra



n csatornás



p csatornás



struktúra

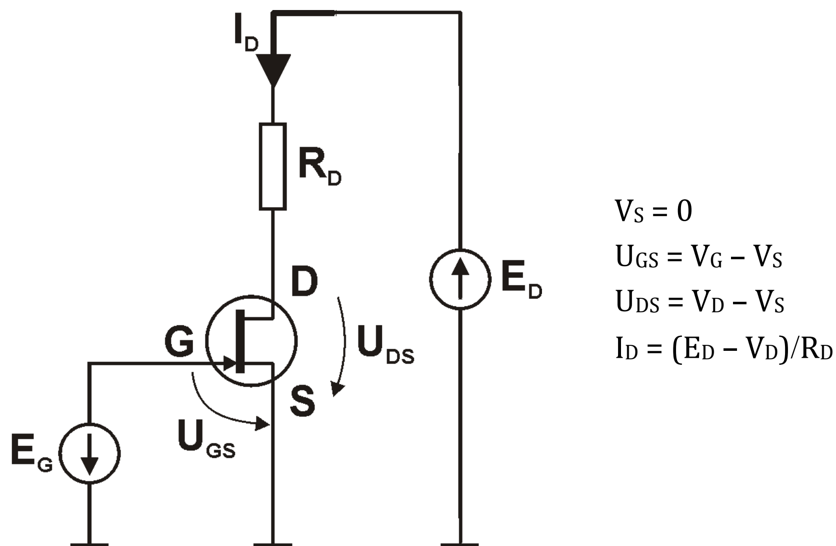
Gyártásilag ezt a tranzisztort úgy hozzák létre, hogy például a *p* szubsztrátumba két önálló *n* szennyezettségű réteget diffundáltatnak (ezek lesznek az *S* forrás és a *D* nyelő), majd ezután a felületet szilíciumoxid réteggel borítják (a kivezetések csatlakoztatása érdekében lyukak vannak rajta), majd az oxidréteg felületén párologtatással alakítják ki a kapuelektródát képező alumínium réteget.

Amint láttuk, a *kiürítéses MOSFET* sajátossága az, hogy beépített vezető csatornával rendelkezik. Működési elve megegyezik fő vonalakban a JFET-nél elmondottakkal, ez az eszköz is feszültséggel viselkedő ellenállásként viselkedik. Ha a kapuelektródára kellően nagy negatív feszültség jut, a kiürített tartomány az egész csatornára kiterjed és egybeér a csatorna másik oldalán a *p* hordozó és az *n* csatorna között levő *pn* átmenet kiürített rétegével. A forrás és a nyelő között ilyenkor nem folyhat áram.

A *növekményes MOSFET* sajátossága az, hogy beépített vezető csatornával nem rendelkezik, tehát ha a *G* kapuelektródára nem adnak feszültséget, a forrás (*S*) és a nyelő (*D*) között szakadás van. Ha a kapuelektródára kis pozitív feszültség jut, akkor ez a potenciál lyukakat szorít ki a *G* elektróda alatti hordozórétegből és a forrás, illetve a nyelő között kiürített réteg keletkezik. Amennyiben a kapu feszültsége még pozitívabbá válik, akkor az a forrásból szabad elektronokat vonz a kiürített rétegbe, kialakul az *n* típusú csatorna. Azt a feszültségértéket, amelynek hatására kialakul a vezető csatorna *küszöbfeszültség*nek nevezzük. Az I_D nyelőáram annál nagyobb, minél nagyobb a kapuelektródára jutó feszültség (*n* csatornás eszköznél minél pozitívabb, *p* csatornás eszköznél minél negatívabb a kapu és a forrás között).

4. A GYAKORLATI MUNKA MENETE. FELADATOK ÉS KÉRDÉSEK

- szemrevételezéssel azonosítjuk az ellenállásokat és a tranzisztort
- teszterrel mérjük meg az alkatelemek névleges értékeit
- multiméteres és teszteres méréssel határozzuk meg a tranzisztor kivezetéseit
- a szimulációs program segítségével elkészítjük a kapcsolást és ellenőrizzük működési helyességét
- elkészítjük az alábbi ábrán bemutatott kapcsolási rajzot:



$V_S = 0$
$U_{GS} = V_G - V_S$
$U_{DS} = V_D - V_S$
$I_D = (E_D - V_D)/R_D$

- a transzferkarakteriszika [$I_D = f(U_{GS})|U_{DS}$ = 5 V és 10 V] felvételéhez a kapu-forrás potenciálkülönbséget (U_{GS}) 0,1 V-onként állítjuk – 1,5 V és 0,5 V között

  Figyelem! Minden mérés esetén először beállítjuk U_{GS}-t, majd visszaállítjuk U_{DS}-t a kívánt értékre. A nyelőáram kisebb értékei esetén a 47 kΩ-os ellenállást használjuk. Ha a nyelőáram értékei nagyobbak, akkor az 1 kΩ-os ellenállást használjuk.

- a mérések eredményét táblázatba foglaljuk, a táblázat javasolt fejléce:

U_{GS} [V]	U_{DS} = 5 V			U_{DS} = 10 V		
	E_D [V]	V_D [V]	$I_D = (E_D - V_D)/R_D$ [mA]	E_D [V]	V_D [V]	$I_D = (E_D - V_D)/R_D$ [mA]

- az $I_D = f(U_{DS})$ kimeneti karakterisztikasereget 3 kapu-forrás potenciálkülönbség értékre vesszük fel (U_{GS} = 0 V; – 0,4 V; – 0,8 V)

  Figyelem! U_{DS}-t a 0 V ... 20 V értéktartományban változtatjuk (0 V és 1 V között 0,15 V-os lépésekkel, 2 V és 5 V között 1,5 V-os lépésekkel, illetve 5 V-onként mérve 5 V és 20 V között)

- a mérések eredményét táblázatba foglaljuk, a táblázat javasolt fejléce:

E_D [V]	V_D [V]	U_{DS} [V]	U_{GS} = 0 V	U_{GS} = – 0,4 V	U_{GS} = – 0,8 V
			$I_D = (E_D - V_D)/R_D$ [mA]		

- grafikusan ábrázoljuk a két karakterisztikát, majd azok alapján meghatározzuk:
  - az U_P elzáródási (beszűkülési) feszültséget
  - U_{DS} = 5 V és I_D = 3 mA értékre a karakterisztika meredekségét

- a csatorna ellenállását (bemeneti ellenállás) ha U_{DS} = 5 V U_{GS} = – 0,4 V
- telítési vagy szaturációs áramot (I_{DSS})
- a csatorna ellenállását a kimeneti karakterisztikák 0 ... 0,5 V közötti szakaszainak meredekségéből

5. OLVASNIVALÓ

- http://www.editura.ubbcluj.ro/bd/ebooks/pdf/3039.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/LCR_T4.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/datasheets/passive_components/
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/+help/
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DM3058_DMM.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/datasheets/breadboard+jumper/WBU-502L+J.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DP800_HU.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DG800_WG.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DS1000Z_DO.pdf

1. A GYAKORLAT CÉLJA

Egy műveleti erősítő lineáris alapkapcsolásainak és az azoknak megfelelő átviteli karakterisztikáknak a gyakorlati tanulmányozása

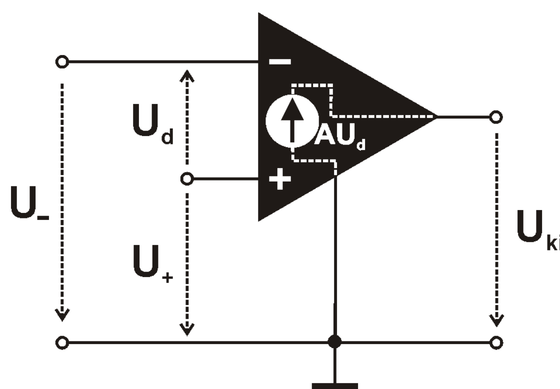
2. SZÜKSÉGES ESZKÖZTÁR

- műveleti erősítő (LM358, βA741)
- forrasztásmentes próbapanel és jumperkészlet
- ellenállások (R_1 = 1 kΩ, R_2 = 2,2 kΩ és/vagy 3,3 kΩ)
- ±12 V-os stabilizált differenciális táp
- asztali multiméter
- labortáp
- grafikus, többfunkciós alkatelem teszter
- mérőtüskék

3. ELMÉLETI ALAPOK RÖVIDEN

A műveleti erősítők a modern analóg elektronika egyik legfontosabb építőkövei, néhány tucat tranzisztorból felépített, közvetlen csatolt, nagy feszültségerősítéssel rendelkező elektronikus alkatrészként foghatók fel.

Igen jóminőségű közvetlen csatolású, egyenáramú erősítők, amelyeknek erősítési tényezője és bemeneti ellenállása igen nagy, kimeneti ellenállásuk nagyon kicsi, bemenetei szimmetrikusak, kimenete pedig aszimmetrikus. Elnevezésük onnan ered, hogy az analóg számítástechnika, szabályozástechnika és méréstechnika igényes műveletvégzési feladataiban alkalmazták és alkalmazzák őket.

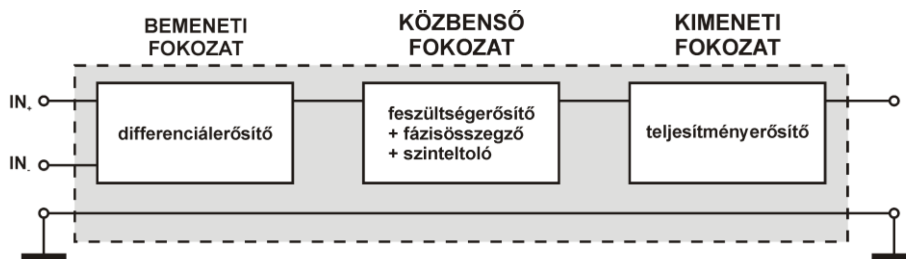


Fontosabb jellemzők	Ideális	Valós
bemeneti ellenállás, R_{be} [Ω]	∞	10^6
kimeneti ellenállás, R_{ki} [Ω]	0	$10^2 \div 10^3$
nyílt hurkú erősítés, A [–]	∞	$10^5 \div 10^6$
bemeneti áramok, $I_\pm$ [A]	0	10^{-9}
offset feszültség, U_{offset} [μV]	0	10
határfrekvenciák, f [MHz]	0 ÷ ∞	0 ÷ 200

kimeneti feszültség: $U_{ki} = A \cdot (U_+ - U_-)$

bemeneti differenciális feszültség: $U_{be} = U_d = U_+ - U_-$

Tömbvázlatos elvi belső felépítését és egyszerűsített belső szerkezetét az alábbi ábrán szemléltetjük:



Az első (bemeneti) fokozat egy differenciálerősítő, a bemenetekre érkező feszültségek különbségét fázisfordítással – $h_{21}R_C/2h_{11}$-szer erősíti fel, ahol h_{21} és h_{11} a bipoláris tranzisztor kisjelű áramerősítési tényezője (β), illetve bemeneti ellenállása, R_C pedig az IC belsejében található tranzisztorok előfeszítését biztosító kollektor ellenállás. A fokozat egyik legfontosabb szerepe a hőmérsékletfüggés megszüntetésében teljesedik ki.

A felépítésben található kimeneti fokozat egy ellenütemű emitter-követő teljesítményerősítő. Az emitter-követő kapcsolás (közös/földelt kollektorú kivitelben) egy maximális negatív visszacsatolású, közös emitterű kapcsolás, amely a negatív visszacsatolás miatt kis torzítást biztosít. A kimenetén levő feszültség megegyezik a bemeneti feszültséggel (vagyis a kimenet „követi" a bemenetet), illetve jellemző rá a nagy bemeneti és a kis kimeneti ellenállás, a széles tartományban való vezérelhetőség és a nagy kimeneti teljesítmény. Az elnevezésben található ellenüteműség arra vonatkozik, hogy az erősítő kapcsolásban két komplementer tranzisztort használunk, amelyek közös terhelésre dolgoznak, a bementi váltakozójel pozitív félperiódusa az egyik, a negatív pedig a másik tranzisztort vezérli majd nyitó irányba.

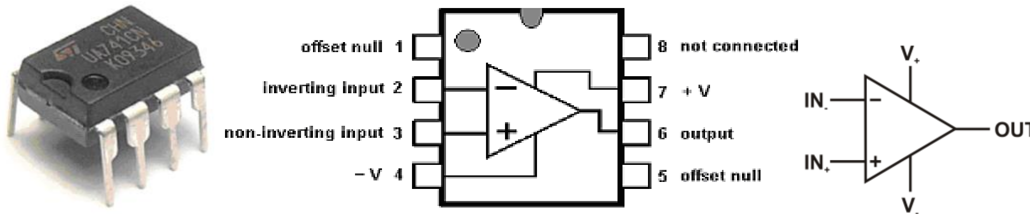
A bementi és a kimeneti fokozatok között egy komplexebb, közbenső egység található, amelynek fő része egy aszimmetrikus közös emitteres erősítő. A fázisösszegző szerepe a differenciálerősítő szimmetrikus kimeneti jelének illesztése ehhez az erősítőhöz, a szinteltoló pedig az egyes erősítőfokozatok között egyenfeszültségű szempontból feszültségkülönbséget hoz létre abból a célból, hogy minden fokozat a legkedvezőbb munkapontban működhessen.

Amint láthatjuk a műveleti erősítő igen nagy, szinte végtelen (nyílt hurkú) feszültségerősítési tényezővel rendelkezik, ezért a kimeneti feszültség értékét a tápfeszültség korlátozni fogja és a műveleti erősítő könnyen határolódásba szalad.

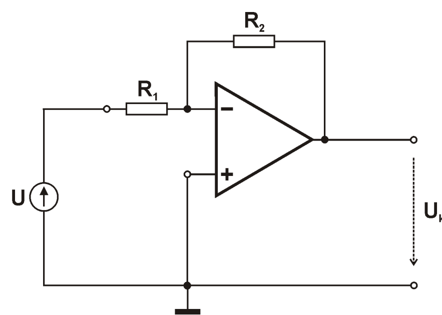
A nagyon nagy erősítési tényező csökkentésének egyedüli lehetősége a negatív visszacsatolás, ebben az esetben a számottevően kisebb erősítési tényezőt csak a külső visszacsatoló hálózat elemei fogják meghatározni.

4. A GYAKORLATI MUNKA MENETE. FELADATOK ÉS KÉRDÉSEK

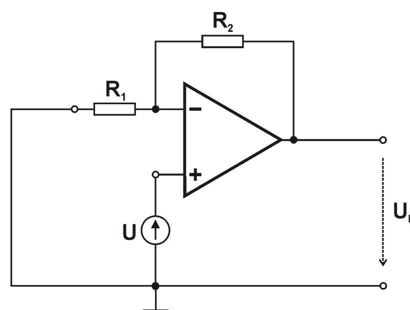
- szemrevételezéssel azonosítjuk az ellenállásokat és teszterrel megmérjük pontos értéküket
- szemrevételezéssel azonosítjuk a műveleti erősítőt, illetve annak lábkiosztását:



- elkészítjük a FÁZISFORDÍTÁSOS alapkapcsolásnak megfelelő mérőáramkört



- legyen $R_1 = 1\,k\Omega$ és $R_2 = 3{,}3\,k\Omega$, az U bemeneti feszültség értékét 0,5 V-os lépésekben fogjuk változtatni – 12 V és + 12 V között!
- mérjük és táblázatoljuk a kimeneti feszültség (U_{ki}) értékét
- ábrázoljuk az $U_{ki} = f(U)$ feszültségátviteli karakterisztikát, majd a grafikon meredekségéből meghatározzuk a feszültségerősítési tényezőt és összehasonlítjuk az elméleti értékkel
- ismételjük meg a méréseket más R_2 értékre is!
- elkészítjük a FÁZISFORDÍTÁS NÉLKÜLI alapkapcsolásnak megfelelő mérőáramkört



- legyen $R_1 = 1\,k\Omega$ és $R_2 = 3{,}3\,k\Omega$, az U bemeneti feszültség értékét 0,5 V-os lépésekben fogjuk változtatni – 12 V és + 12 V között!
- mérjük és táblázatoljuk a kimeneti feszültség (U_{ki}) értékét

- ábrázoljuk az $U_{ki} = f(U)$ feszültségátviteli karakterisztikát, majd a grafikon meredekségéből meghatározzuk a feszültségerősítési tényezőt és összehasonlítjuk az elméleti értékkel
- ismételjük meg a méréseket más R_2 értékre is!
- vizsgáljuk meg minden esetben, hogy mi történik, ha az R_2 ellenállás hiányzik
- készítsünk részletes és kimerítő kiértékelő jelentést munkánkról

5. OLVASNIVALÓ

- http://www.editura.ubbcluj.ro/bd/ebooks/pdf/3039.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/LCR_T4.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/datasheets/passive_components/
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/datasheets/active_components/
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/+help/
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/datasheets/breadboard+jumper/WBU-502L+J.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DM3058_DMM.pdf

13. A WIEN OSZCILLÁTOR TANULMÁNYOZÁSA

1. A GYAKORLAT CÉLJA

Harmonikus rezgések előállítása és vizsgálata Wien-hidas oszcillátor segítségével

2. SZÜKSÉGES ESZKÖZTÁR

- műveleti erősítő (LM358, βA741)
- forrasztásmentes próbapanel és jumperkészlet
- ellenállások ($R_{1,2,3}$ = 1 kΩ)
- változtatható ellenállás (R_4 = 5 kΩ)
- műanyag kondenzátorok (C = 1 nF, 10 nF, 100 nF)
- mérőszondák
- oszcilloszkóp
- ±12 V-os stabilizált differenciális táp
- grafikus, többfunkciós alkatelem teszter
- mérőtüskék

3. ELMÉLETI ALAPOK RÖVIDEN

Az oszcillátor (rezgéskeltő) egy olyan elektronikus áramkör, amely egyenáramú energiát felhasználva csillapítatlan elektromágneses rezgéseket állít elő (ez a vezetékben váltakozó áramként vagy feszültségként, szabad térben pedig elektromágneses hullámként jelentkezik). Az oszcillátor legfontosabb alkotóeleme a rezgőkör.

A villamosságtan szerint a rezgőkör egy olyan diszkrét, passzív áramköri elemekből kialakított egyszerű (soros vagy párhuzamos) áramkör, amely az elektromágneses energiát folyamatosan tárolja és alakítja át. Kéttárolós rendszerről van szó, egy kondenzátor az elektromos energiát tárolja, a tekercs pedig a mágneses energiát raktározza, a rezgések a két típusú energia folyamatos és kölcsönös egymásba alakulása révén jön létre.

Sajnos a rezgőkör energiatartalma (a kezdeti pillanatban eltárolt majd folyamatosan átalakított energia) a vesztességek következtében (melegedés, ellenállás, Joule-hő) folyamatosan csökken és ezért csillapított rezgések jönnek létre.

A rezgések fenntartásához, azaz a csillapítatlan rezgések előállításához, szükséges a vesztességek pótlása – ez csak úgy lehetséges, ha az energia disszipáló folyamatok hatását el tudjuk tüntetni, vagyis találunk “valamit”, amely képes az általuk okozott veszteségeket kompenzálni.

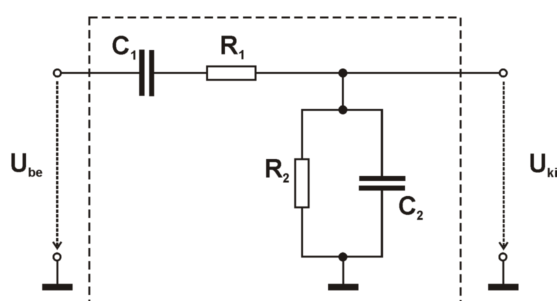
A vesztességek kompenzálásának egyik legelterjedtebb lehetősége a pozitív visszacsatolással üzemeltetett műveleti erősítő használata.

A pozitív visszacsatolás miatt az erősítés nő, de az erősítő többi tulajdonsága leromlik és fennáll a begerjedés lehetősége (a pozitív visszacsatolásos erősítő erősítési tényezője végtelenül nagy értékűvé növekedik) ami oszcillációk keletkezésével jár, azaz a rendszer bemeneti jel nélkül is képes lesz kimeneti jelt szolgáltatni: maga hozza létre a szükséges vezérlőjelt és kimenetén csillapítatlan, harmonikus jel keletkezik.

Nyilvánvalóan az előállított rezgések frekvenciáját és időbeli stabilitását egy úgynevezett frekvencia-meghatározó egységgel valósítjuk meg, ami lehet egy LC rezgőkör, egy RC fázistoló hálózat vagy kvarckristály is lehet.

Az egyik legegyszerűbb, a *kHz*-es frekvenciatartományokban működő oszcillátor a *Wien-oszcillátor*, amelynek visszacsatoló ágában egy *Wien-híd* (RC hálózat) található és megszabja a frekvenciát, a veszteségeket pedig egy műveleti erősítős, fázisfordítás nélküli alapkapcsolással oldjuk meg.

A Wien híd:



a feszültségátvitel:

$$\beta = \frac{U_{ki}}{U_{be}} = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}}$$

az előállított rezgések frekvencia:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

Ha az alkatelemek értékeit úgy választjuk meg, hogy megközelítőleg teljesüljön az alábbi két feltétel:

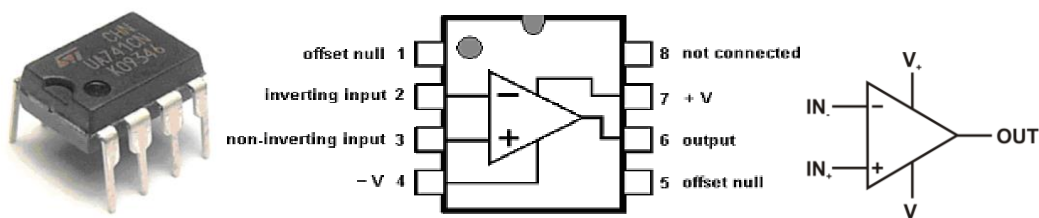
$$R_1 = R_2 = R \text{ és } C_1 = C_2 = C$$

akkor:

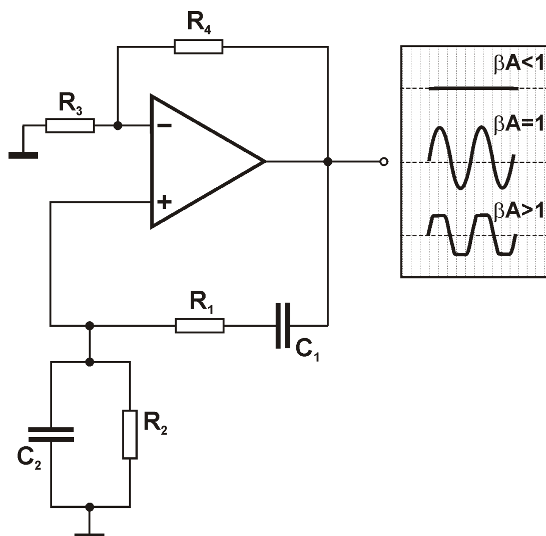
$$\beta = \frac{1}{3} \quad \text{és} \quad f = \frac{1}{2\pi RC}$$

4. A GYAKORLATI MUNKA MENETE. FELADATOK ÉS KÉRDÉSEK

- szemrevételezéssel azonosítjuk az ellenállásokat, a kondenzátorokat, a műveleti erősítőt, és annak lábkiosztását



- teszterrel mérjük meg az ellenállások és kondenzátorok névleges értékeit
- elkészítjük az alábbi kapcsolást és ellenőrizzük működési helyességét:



$$A = 1 + \frac{R_4}{R_3}$$

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}}$$

$$\beta A = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}} \cdot \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) = 1$$

- a műveleti erősítő kimenetén megfigyeljük az előállított jel formáját (alakját), ez a jelalak az R_4 értékének változtatásával befolyásolható
- megfigyeljük és lejegyezzük a jelforma alakulását a szinuszos rezgések megjelenésétől azok eltorzulásáig, illetve eltűnéséig (R_4 értékének függvényében – ezt az értéket úgy mérjük meg, hogy az R_4-es változtatható ellenállást mindig kivesszük az áramkörből, a további mérésekhez pedig visszahelyezzük!)
- meghatározzuk az előállított harmonikus oszcillációk frekvenciáját és összehasonlítjuk azt a várt (elméletileg kiszámolt) értékekkel
- minden esetben (R_4 értékének függvényében) nyomon követjük a Barkhausen feltétel alakulását
- készítsunk részletes és kimerítő kiértékelő jelentést munkánkról

5. OLVASNIVALÓ

- http://www.editura.ubbcluj.ro/bd/ebooks/pdf/3039.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/LCR_T4.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/datasheets/passive_components/
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/+help/
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DM3058_DMM.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/datasheets/breadboard+jumper/WBU-502L+J.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DP800_HU.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DG800_WG.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DS1000Z_DO.pdf

1. A GYAKORLAT CÉLJA

A félvezető dióda alapú egyenirányító áramkörök gyakorlati vizsgálata

2. SZÜKSÉGES ESZKÖZTÁR

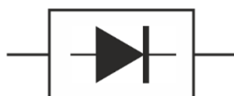
- félvezető diódák (1N4007)
- félvezető egyenirányító híd (B250R, KBP206G, …)
- forrasztásmentes próbapanel és jumperkészlet
- kisfeszültségű hálózati transzformátor
- ellenállás (R = 1 kΩ / 1 W)
- szűrőkondenzátorok (C = 10 μF / 25 V)
- labortáp
- asztali multiméter és mérőzsinórok
- oszcilloszkóp és mérőszondák
- grafikus, többfunkciós alkatelem teszter
- mérőtüskék

3. ELMÉLETI ALAPOK RÖVIDEN

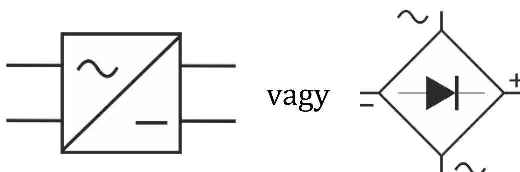
Az egyenirányító áramkörök olyan analóg funkcionális áramkörök, amelyek a hálózati transzformátorok által megfelelő értékűre letranszformált szinuszos váltakozó feszültséget igen nagy hullámosságú, lüktető egyenfeszültséggé alakítják.

Az átalakításhoz célszerű aszimmetrikus vezetési tulajdonságokkal rendelkező alkatelemet használni, ezért régen elektroncsövet (vákuumdiódát) vagy szelénből készült egyenirányítót használtak, ma már ezek szerepét a félvezető diódák vették át.

A szakmai gyakorlatban többfajta rajzjel is használatos. A legáltalánosabb (tömbvázlatos) rajzjelük az alábbi ábrán látható



Amennyiben az egyenirányítási feladatot négy, hídkapcsolásba rendezett diódával oldják meg, az egyezményes tömbvázlatos rajzjel



lesz.

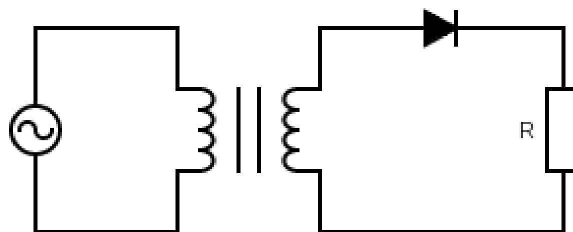
Az egyenirányító áramkörök elnevezéskor két jelzőt szoktak kapni. Ezek az *útszám*-ra és az *ütemszám*-ra utalnak.

Az *útszám* megmutatja, hogy az egyenirányítót tápláló transzformátor szekunderében egy teljes periódusidő alatt hány irányba folyik az áram. Ennek alapján megkülönböztetjük az egyutas és kétutas egyenirányítókat.

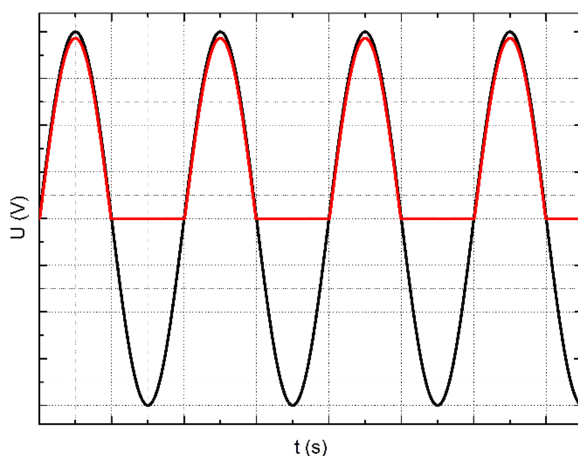
Az elnevezésekben az *ütemszám* a már egyenirányított feszültség hullámosságát jellemzi és arra utal, hogy egy bemenő periódus alatt a kimenő áramnak hány hulláma lesz. Ennek értelmében együtemű és kétütemű egyenirányítókról beszélünk.

A szakmai gyakorlatban, figyelembe véve az útszám és az ütemszám lehetséges kombinációit, háromfajta egyenirányító kapcsolást különböztetünk meg, ezek: egyutas együtemű, egyutas kétütemű és kétutas kétütemű.

A legegyszerűbb egyenirányító kapcsolás az egyutas együtemű. Ennek megvalósítását az alábbi ábra szemlélteti.



Ez egyetlen félvezető diódát használ: a transzformátor által szolgáltatott váltakozóáram azon félperiódusaiban amikor a dióda anódja legalább a nyitófeszültséggel nagyobb potenciálértéken van, mint a katód, a dióda vezetni fog. Ha záróirányú váltakozó feszültség kerül a dióda anódjára, akkor a dióda nem vezet (csak igen kis visszáram folyik át rajta). Így az egyenirányító kapcsolás kimenetén mindig csak azok a félperiódusok jelennek meg amikor a dióda vezet és az eredmény egy nagyon lüktető áram lesz.



A hullámforma:

← a transzformátor szekunderén (–)

← az egyenirányítás után (–)

Ugyanakkor észrevehető két igen fontos tény: az egyenirányítás eredménye nem egy tökéletes egyenfeszültség, inkább lüktető (pulzáló) jellege van és a diódán feszültség esik, azaz az egyenirányított, pulzáló feszültség nagysága a dióda nyitófeszültségének megfelelő értékkel kisebb lesz.

Mivel az egyenirányító kimenetén megjelenő feszültség amplitúdója időben nem állandó, felbontható lesz egyen- és váltakozófeszültségű összetevőkre, illetve leírására a frekvencia és a maximális érték mellett, a középértékeket is használhatunk.

Az egyenfeszültségű összetevőt az egy periódusra számított egyszerű elektronikus középérték adja:

$$U_{közép} = \frac{1}{T}\int_0^T u_{egyenirányított}(t)dt$$

ahol

$$u_{egyenirányított}(t) = \begin{cases} U_0 sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) & ha\ 0 < t \leq \frac{T}{2} \\ 0 & ha\ \frac{T}{2} < t \leq T \end{cases}$$

Tehát

$$U_{közép} = \frac{U_0}{\pi}$$

A négyzetes (effektív vagy integrál) középérték:

$$U_{effektív} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T u^2_{egyenirányított}(t)dt}$$

vagyis

$$U_{effektív} = \frac{U_0}{2}$$

Az egyenirányítás jóságát az úgynevezett *hullámosság* adja meg, ami a váltakozóáramú összetevő effektív értékének és az egyszerű középérték hányadosának arányából kapunk meg:

$$\gamma = \frac{U_{effektív}}{U_{közép}}$$

Minél kisebb ez az érték annál simább az egyenirányított feszültség. Az egyutas együtemű egyenirányítás esetén a hullámosság értéke

$$\gamma = 1{,}57$$

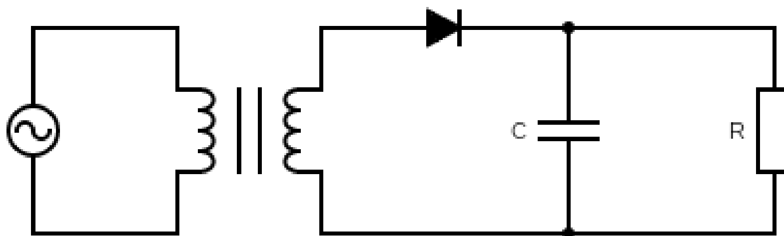
lesz.

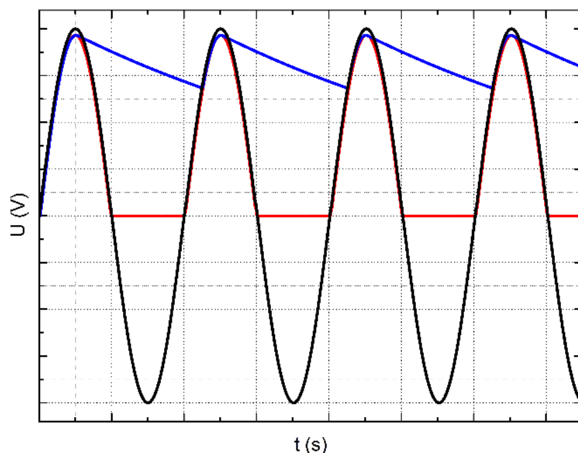
Az egyenirányított jel ingadozásainak minimuma és maximuma közötti különbséget a szakirodalom *búgófeszültség* néven tartja számon. Az elnevezés onnan származik, hogy hangszóróra kapcsolva ezt a feszültséget, közepesen mély búgás fog hallatszani. Mivel az egyutas együtemű egyenirányításkor az egyenirányított jel maximális értéke U_0 és minimuma 0, a búgófeszültségre

$$U_B = U_0 - 0 = U_0$$

kapunk, ami egy igen nagy érték is lehet.

Az ilyen jellegű lüktető egyenfeszültség általában alkalmatlan a szokványos elektronikus kapcsolások működtetésére, esetleg akkumulátorok töltésére használható. A legtöbb elektronikus eszköz üzemeltetéséhez „igazi sima”, azaz időben minél állandóbb egyenfeszültségre van szükség. A simítás legegyszerűbb megoldása egy szűrőkondenzátor (C) használata párhuzamosan az R fogyasztóval. Ez a dióda működésé közben feltöltődik, majd azokban az időszakokban amikor a dióda nem vezet biztosítja a feszültséget a fogyasztón a benne tárolt töltésmennyiség által.





A hullámforma:
← a transzformátor szekunderén (–)
← az egyenirányítás után (–)
← a szűrés után (–)

A kondenzátor jelenlétében a búgófeszültség:

$$U_B = \frac{I_t}{2\pi f p C}$$

ahol I_t a terhelési áram, f a frekvencia, p az ütemszám (esetünkben $p = 1$) és C a kondenzátor kapacitása.

Minél nagyobb a kondenzátor kapacitása, a lüktető jel annál jobban „kiegyenesedik” és így a búgófeszültség amplitúdója is kisebb lesz.

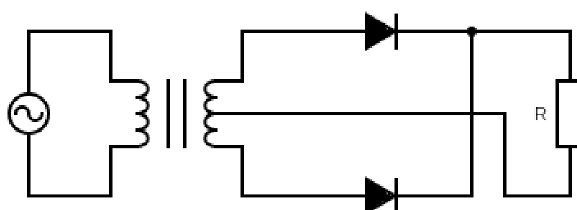
Sajnos, bár nagyon egyszerű kapcsolásról van szó és a hullámosság is, illetve a búgófeszültség is csökkentek, az alacsony hatásfok miatt (40,53 %) nemigen használják. A szóban forgó hatásfok a kimenő egyenáramú és a bemenő váltóáramú teljesítmények hányadosaként értendő. A hullámosság és a hatásfok az ütemszám növelésével javítható.

$$P_{egyenáramú} = \frac{U_{közép}^2}{R} = \frac{\left(\frac{U_0}{\pi}\right)^2}{R} = \frac{{U_0}^2}{\pi^2 R}$$

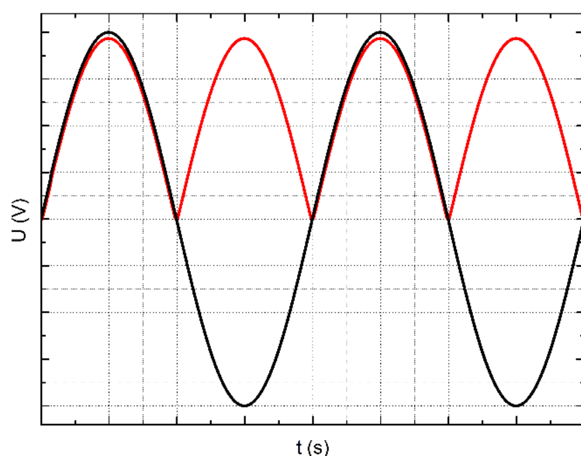
$$P_{váltakozóáramú} = \frac{U_{eff}^2}{2R} = \frac{\left(\frac{U_0}{\sqrt{2}}\right)^2}{2R} = \frac{{U_0}^2}{4R}$$

$$\eta = \frac{P_{egyenáramú}}{P_{váltakozóáramú}} = \frac{\frac{{U_0}^2}{\pi^2 R}}{\frac{{U_0}^2}{4R}} = \frac{4}{\pi^2} = 0{,}40528 \cong 0{,}4053 \cong 40{,}53\ \%$$

Az egyutas kétütemű egyenirányítás egyszerűbb formában középkivezetéses transzformátorral és két diódával oldható meg.



A két dióda és a középkivezetés jelenléte biztosítja azt, hogy mindkét félperiódusban legyen vezetés. Az jellegzetes jelformák az alábbi ábrán láthatók.



A hullámforma:

← a transzformátor szekunderén (–)

← az egyenirányítás után (–)

Az egyenirányított feszültség még mindig lüktető, időbeli változását az alábbi analitikai összefüggés adja meg:

$$u_{egyenirányított}(t) = \begin{cases} U_0 sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) & ha\ 0 < t \leq \frac{T}{2} \\ -U_0 sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) & ha\ \frac{T}{2} < t \leq T \end{cases}$$

A jel hullámosságát kifejezhetjük az időben változó jelek Fourier analízisének segítségével is:

$$u_{egyenirányított}(t) = \frac{2U_0}{\pi} + \frac{4U_0}{3\pi} sin\left(2 \cdot \frac{2\pi}{T}t - \frac{\pi}{2}\right) + \frac{4U_0}{15\pi} sin\left(4 \cdot \frac{2\pi}{T}t - \frac{\pi}{2}\right) + \cdots$$

amikor is a hullámossági tényező a legkisebb frekvenciájú összetevő együtthatójának és az egyenáramú összetevőjének a hányadosa lesz.

$$\gamma = \frac{\frac{4U_0}{3\pi}}{\frac{2U_0}{\pi}} = \frac{4}{6} = \frac{2}{3} = 0{,}67$$

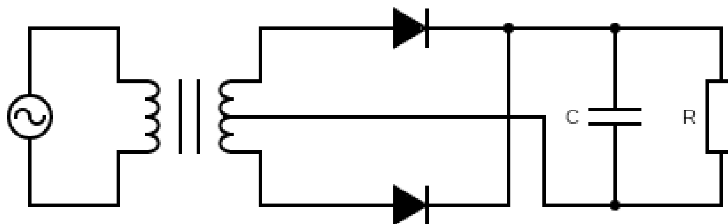
Nagyon jól észrevehető, hogy a hullámosság javult.

A hatásfok pedig

$$= \frac{P_{egyenáramú}}{P_{váltakozóáramú}} = \frac{\frac{4{U_0}^2}{\pi^2 R}}{\frac{{U_0}^2}{2R}} = \frac{8}{\pi^2} = 0{,}81056 \cong 0{,}8106 \cong 81{,}06\ \%$$

ami már egy kétszer jobb érték.

A simítás ebben az esetben is pufferkondenzátor segítségével történik és az egyutas egyenirányításnál említettek itt is érvényesek.



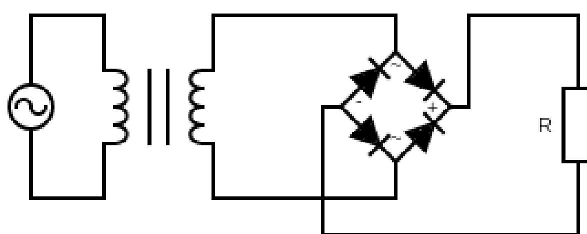
A búgófeszültség:

$$U_B = \frac{I_t}{2\pi f p C}$$

ahol I_t a terhelési áram, f a frekvencia, p az ütemszám (esetünkben $p = 2$) és C a kondenzátor kapacitása. Tehát az egyutas együtemű esethez képest a búgófeszültség megfeleződik.

A sok jó eredmény ellenére meg kell jegyezni, hogy ennek a kapcsolásnak a nagy hátránya a viszonylag drágább középkivezetéses transzformátorok használata.

Ugyancsak kétütemű, de kétutas egyenirányítást biztosít az úgynevezett Graetz-hidas, négy diódás megoldás is.



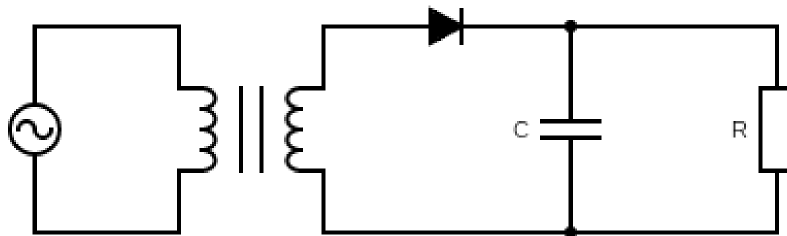
Bár a négy dióda használata látszólag bonyolultabbnak és költségesebbnek tűnik, a módszernek van két nagyon nagy előnye. Az első az, hogy bármilyen transzformátorral használható, tehát nem szükséges a költségesebb középkivezetésest használni. A második előny abban rejlik, hogy ma már a megfelelően elrendezett négy darab dióda egy tokozásba elrendezetten kapható:



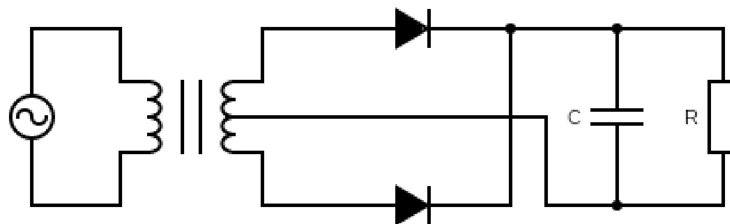
A hullámosság, a hatásfok és a búgófeszültség értékei/kifejezései megegyeznek az egyutas kétütemű kapcsoláséival.

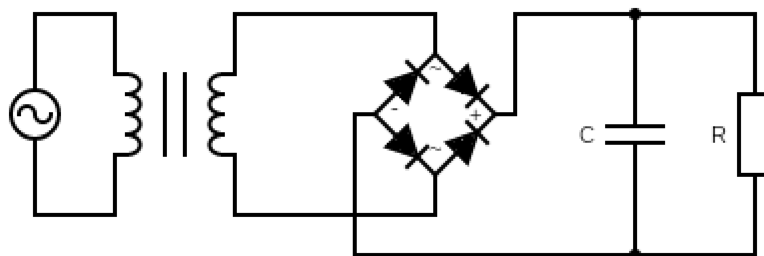
4. A GYAKORLATI MUNKA MENETE. FELADATOK ÉS KÉRDÉSEK

- szemrevételezéssel azonosítjuk az ellenállást, a kondenzátorokat a diódát, illetve az egyenirányító hidat
- teszterrel mérjük meg az ellenállás és a kondenzátorok pontos értékét
- multiméteres és teszteres méréssel beazonosítjuk a dióda kivezetéseit
- azonosítsuk be az egyenirányító híd kivezetéseit
- készítsük el az egyutas együtemű kapcsolást:



- jelenítsük ki és mérjük meg oszcilloszkóp segítségével az időben változó feszültséget a kisfeszültségű hálózati transzformátor szekunderén és az ellenálláson, különböző értékű szűrőkondenzátorokkal és anélkül
- határozzuk meg a hullámossági tényező és a búgófeszültség kísérleti értékeit minden esetben
- rendre készítsük el az egyutas kétütemű és a Graetz-hidas kapcsolásokat is:





majd ismételjük meg a méréseket és számításokat

- a szimulációs program (*NI Multisim*) segítségével elkészítjük rendre a kapcsolásokat és ellenőrizzük azok működési helyességét (felhasználandó Multisim-es dióda és híd modellek: 1N4007GP, 3N246)
- készítsünk részletes és kimerítő kiértékelő jelentést munkánkról

5. OLVASNIVALÓ

- http://www.editura.ubbcluj.ro/bd/ebooks/pdf/3039.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/LCR_T4.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/datasheets/passive_components/
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/+help/
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/datasheets/breadboard+jumper/WBU-502L+J.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DP800_HU.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DM3058_DMM.pdf

15. A FESZÜLTSÉGSTABILIZÁTOROK TANULMÁNYOZÁSA

1. A GYAKORLAT CÉLJA

A parametrikus és az integrált típusú feszültségstabilizáló áramkörök gyakorlati vizsgálata

2. SZÜKSÉGES ESZKÖZTÁR

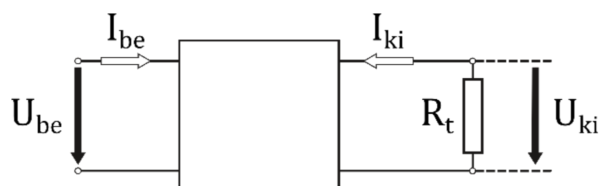
- feszültségstabilizáló diódák (PL12Z, 4V3Z, 5V6Z, 8V2Z)
- integrált feszültségstabilizátor (LM78xx)
- forrasztásmentes próbapanel és jumperkészlet
- előtétellenállás (R = 169 Ω)
- terhelő ellenállások (R = 1 kΩ, 10 kΩ, 100 kΩ, 1 MΩ)
- szűrőkondenzátorok (C = 10 μF)
- labortáp
- asztali multiméter és mérőzsinórok
- grafikus, többfunkciós alkatelem teszter
- mérőtüskék

3. ELMÉLETI ALAPOK RÖVIDEN

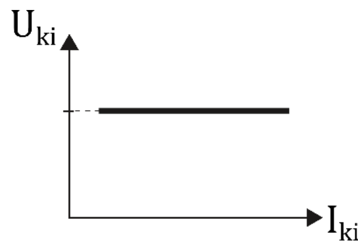
Az elektronikában a stabilizátor fogalma egy olyan áramkört takar, amely állandó, a zavaró hatásoktól független kimeneti jelt szolgáltat.

A feszültségstabilizátorok olyan analóg funkcionális áramkörök, amelyek a szűrőkondenzátorral ellátott egyenirányító áramkörök kimenetén megjelenő szűrt, de búgó egyenfeszültségből stabil egyenfeszültséget hoznak létre.

A stabilitás arra vonatkozik, hogy a négypólusnak tekintett stabilizátor kimeneti feszültsége vagy áramerőssége a bemeneti feszültség ingadozásaitól, a terhelőáram nagyságától és a hőmérséklettől függetlenül állandó marad. Ennek a gyakorlatnak a keretén belül kizárólag a feszültségstabilizátorokkal fogunk foglalkozni.



Mindezek értelmében az ideális feszültségstabilizátorok áram-feszültség karakterisztikája egy párhuzamos lenne az áram-tengellyel.



A valóságban a karakterisztika alakja ettől eltér mivel a kimeneti feszültség, a bemeneti feszültségérték, a terhelőáram és az alkatelemek üzemi hőmérséklete miatt bizonyos határok között változhat. A legtöbb elektronikus áramkör üzemeltetéséhez elegendő az 5 – 10 %-os pontosság.

A szakmai gyakorlat a kimeneti feszültség stabilizálására kétféle megoldást tart számon:

(a) a *soros stabilizálási elv* alapján működő stabilizátorok esetén a stabilizálási elem a terheléssel (fogyasztóval) sorosan van csatlakoztatva és úgy fog viselkedni, mint egy vezérelt változtatható ellenállás (a terhelő áram növekedése vagy a bemeneti feszültség csökkenése esetén a szabályozó elem rezisztenciája úgy fog csökkeni, hogy a fogyasztón a kimeneti feszültség ne változzon, fordított változások esetén a szabályozó ellenállás rezisztenciája természetesen növekedik)

(b) a *párhuzamos stabilizálási elv* esetén a stabilizálási elem a terheléshez (fogyasztóhoz) párhuzamosan csatlakozik és a szabályozó ellem rezisztenciája azonos irányba fog változni a kimeneti feszültséggel (a megnövekvő terhelési áram és csökkenő bemeneti feszültség miatt megnövekvő szabályozó elem rezisztencia „visszaemeli” a kimeneti feszültséget a kívánt, stabil szintre)

A párhuzamos stabilizátorok működésében fontos szerep jut a szabályozó elem maximális áramát korlátozó előtétellenállásnak, amely ugyanakkor létrehozza a szükséges bemeneti feszültségesést is. Ezeknek a stabilizátoroknak a kapcsolástechnikája egyszerű és a kimeneti rövidzár sem teszi tönkre őket (a teljes teljesítményt ilyenkor az előtétellenállás veszi fel és nem a stabilizáló elem).

Ezzel szemben a soros elven működő stabilizátorok kapcsolástechnikája viszonylag bonyolultabb, de a stabilizálásuk és a hatásfokuk is jobb, ellenben a rövidzár tönkre tenné a kapcsolást (csak rövidzár- és túlterhelés elleni védelemmel üzemeltethetők).

Egy feszültségstabilizátor minőségi jellemzésére használható mennyiség a *bementi feszültségváltozásra vonatkoztatott stabilizálási tényező,* amely a relatív feszültésváltozások hányadosaként értelmezhető:

$$Q_{SU_{be}} = \frac{\frac{\Delta U_{be}}{U_{be}}}{\frac{\Delta U_{ki}}{U_{ki}}}$$

Attól függetlenül, hogy a soros vagy párhuzamos elv alapján működnek, két alapvető kapcsoláskialakítást különböztetünk meg:

(a) a *passzív*, *elemi* vagy *parametrikus* stabilizátorok – a fix paraméterekre tervezett áramkör egy előre jól meghatározott, állandó értékű feszültséget szolgáltat, párhuzamos elvű és olyan félvezető diódákkal valósítható meg amelyek áram-feszültség karakterisztikájában vagy egy nagy meredekségű szakasz, azaz a működési tartományukban a dinamikus ellenállás értéke kicsi

(b) az *aktív* vagy *visszacsatolásos* stabilizátorok – ebben az esetben az áramkör úgy van tervezve, hogy folyamatosan „figyeli" a kimeneti feszültség értékét és az érték változásait (ingadozásait) visszacsatolja a bemenetre a korrekció érdekében, ezért ezt a stabilizátorcsaládod nevezhetjük *feszültség szabályozó*-nak is (angolul *voltage regulator*) – a megvalósítás szempontjából lehetnek: *folytonosak* vagy *lineárisak* (kimeneti feszültség folytonos vagyis nulla frekvenciájú), *diszkrétek* vagy *kapcsoló üzemmódúak* (a kimeneti feszültség impulzusmodulált) illetve *hibridek* (a kapcsolóüzemű és lineáris szabályzás egymás után van alkalmazva)

Az eddig felsorolt stabilizátorok önálló alkatelemekkel valósíthatók meg. Az elektronika és a félvezetőipar fejlődése lehetővé tette az integrált technológiával előállított stabilizátorok megjelenését is. A stabilizátor szerepet betöltő integrált áramkörök az aktív stabilizátorok családjának valamelyik típusához tartoznak és tovább csoportosíthatók *konstans kimenetű*, illetve *változtatható kimenetű* alosztályokba annak alapján, hogy külső alkatelemek nélkül is tudják szabályozni a feszültséget egy adott értékre (konstans kimenet) vagy a külső alkatelemek segítségével állíthatóvá válik a kimeneti feszültség (változtatható kimenet).

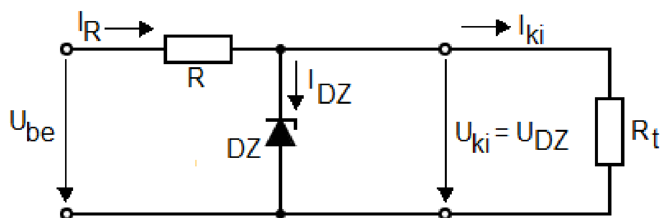
A parametrikus feszültségstabilizátor

Amennyiben kis feszültségértékekről van szó (0,6 ÷ 2,5 V tartományból) a stabilizálási feladatot eltudja látni egy Si alapú félvezető dióda, a bázis-emitter átmenete révén egy bipoláris tranzisztor vagy egy fénykibocsátó dióda (LED) is. A 0,6 ÷ 0,9 V értéktartományban a *pn* átmenet nyitóirányú viselkedése szolgáltatja a viszonylag stabil nyitófeszültség körüli értéket. Az 1,8 V-nál nagyobb értéket már LED segítségével vagy Si diódák sorba kapcsolásával lehet elérni. Sajnos a megfelelő stabilizálás csak kis terhelő áramok esetén biztosított, az üzemi hőmérséklet befolyása sem maradhat figyelmen kívül mivel a jellegzetes – 2 mV/K hőmérsékleti együttható nem annyira elhanyagolható a 0,6 V körüli értékekhez képest.

Elvileg sokkal szélesebb értéktartományban (2,3 ÷ 250 V) használhatók az úgynevezett *stabilizáló* vagy *Zener* félvezető diódák. Ezek speciális gyártású és felépítésű diódák, amelyeket záróirányú előfeszítésben működtetünk. Rajzjelük és jellegzetes látképük az alábbi ábrán figyelhető meg:



A Zener diódás stabilizátor jellegzetes kapcsolását az alábbi áramkörön szemléltetjük:



Amint észrevehető, az R_t fogyasztón mérhető feszültség (a kimeneti feszültség) megegyezik a Zener dióda feszültségével (U_{DZ}). Mivel a legáltalánosabb esetben a bemeneti feszültség és a kimeneti terhelőáram is változik, ez a diódán fellépő U_{DZ} feszültség változásához is vezet. Kirchhoff hálózati törvényeit felírva:

$$I_R = I_{DZ} + I_{ki}$$
$$U_{be} = I_R \cdot R + U_{ki}$$
$$U_{DZ} = I_{DZ} \cdot r_Z = U_{ki} = I_{ki} \cdot R_t$$

ahol r_Z a dióda dinamikus ellenállása, értéke nagyságrendileg a 10^0 – 10^1 Ω tartományban található.

Az R előtét ellenállás értékét általában a Zener dióda katalógusadataiban szereplő *maximálisan megengedhető teljesítmény* (P_{dmax}) és a megengedett maximális Zener áram (I_{Zmax}) alapján határozzuk meg:

$$R = \frac{P_{dmax}}{I_{Zmax}^2}$$

A stabilizálás jóságát a *bementi feszültségváltozás elnyomási tényezője* segítségével becsüljük meg. Ennek értéke:

$$S = \frac{\Delta U_{be}}{\Delta U_{DZ}}$$

A fentebb felírt egyenletek alapján a bemeneti feszültség változására következik, hogy:

$$\Delta U_{be} = \Delta I_R \cdot R + \Delta U_{ki} = (\Delta I_{DZ} + \Delta I_{ki}) \cdot R + \Delta U_{DZ} = \left(\frac{\Delta U_{DZ}}{r_Z} + \frac{\Delta U_{DZ}}{R_t}\right) \cdot R + \Delta U_{DZ}$$

vagyis az elnyomási tényező:

$$S = \frac{\Delta U_{be}}{\Delta U_{DZ}} = 1 + \frac{R}{r_Z} + \frac{R}{R_t}$$

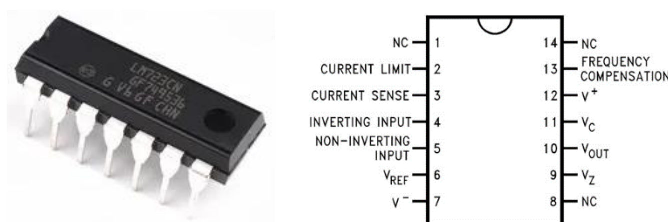
lesz, nagyságrendje pedig 10^2 körüli.

Az integrált feszültségstabilizátor

Az integrált monolitikus feszültségstabilizátorok visszacsatolással és soros szabályozó elemmel vannak ellátva. Belső áramköri felépítésük elvileg megegyezik a diszkrét alkatelemekből felépített kapcsolásokéval, a különbség csak olyan kapcsolástechnikai

megoldások létezése amelyek olcsón kivitelezhetők magasabb minőségi jellemzőkkel az integrált ármakörös technológiának köszönhetően.

Az első generációs változatban minden belső áramköri egység bemenete és kimenete ki van vezetve a tokozásból, a felhasználó számára hozzáférhető. Ez a típusú feszültségstabilizátor kisteljesítményű és több mint 3 kivezetéssel rendelkezik. Az egyik legnépszerűbb változat az *LM723* kódjelzést viseli. Lehetséges rajzjele és jellegzetes látképe az alábbi ábrán figyelhető meg:



A második generációs integrált feszültségstabilizátorok az első generációsokhoz viszonyítva számos előnyös tulajdonsággal bírnak: csak három kivezetésük van, beépített túláramvédelemmel és frekvenciakompenzálással rendelkeznek, maximális terhelőáramuk Amper nagyságrendű, 5 ÷ 100 W teljesítményűek ezért hűtőbordára kell őket helyezni, a gyakorlati alkalmazásokban maximum három külső diszkrét elem beépítését igénylik.

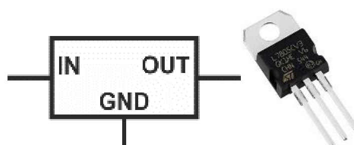
Ezek közül nagy népszerűségnek örvendő változatok a *7#XY*, illetve *3@7* kódjelzést viselik, ahol:

XY = számjegyek, felvilágosítást adnak a nem változtatható stabilizált kimeneti feszültség értékéről (Pld.: XY = 05 ⇒ 5 V vagyis LM7805, XY = 09 ⇒ 9 V vagyis LM7809, XY = 12 ⇒ 12 V vagyis LM7812)

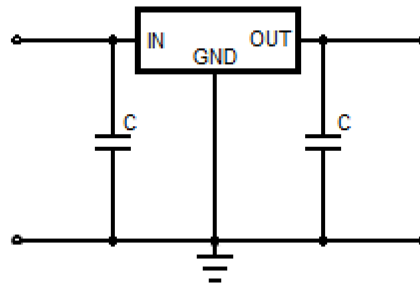
= 8 vagy 9 aszerint, hogy a pozitív vagy negatív feszültségszabályozásról van szó (LM7805 ⇒ + 5 V, LM7905 ⇒ – 5 V)

@ = 1 vagy 3 aszerint, hogy a pozitív vagy negatív feszültségszabályozásról van szó, a stabilizált kimeneti feszültség pedig változtatható (LM317, LM337)

A lehetséges rajzjel és jellegzetes látkép az alábbi ábrán figyelhető meg:



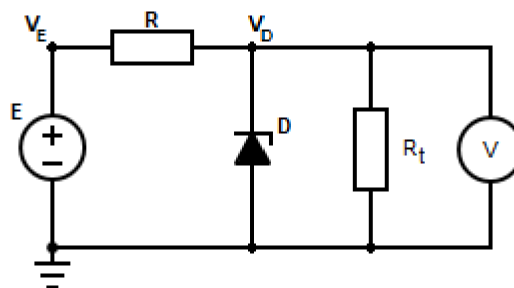
Az integrált stabilizátor jellegzetes kapcsolását az alábbi áramkörön szemléltetjük:



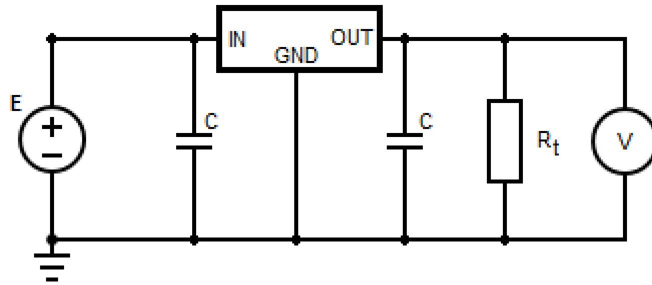
A két kondenzátort minél közelebb kell helyezni a stabilizátor kivezetéseihez, a begerjedést hivatottak megakadályozni.

4. A GYAKORLATI MUNKA MENETE. FELADATOK ÉS KÉRDÉSEK

- szemrevételezéssel azonosítjuk az ellenállást, a kondenzátorokat a diódát
- teszterrel mérjük meg az ellenállás és a kondenzátorok pontos értékét
- multiméteres és teszteres méréssel beazonosítjuk a dióda kivezetéseit
- azonosítsuk be a feszültségstabilizátor IC kivezetéseit
- készítsük el a parametrikus feszültségstabilizátor kapcsolási rajzát:



- a voltmérő segítségével mérjük meg és jegyezzük le a kimeneti feszültség értékét négy különböző terhelő ellenállás értékre (R_t = 1 kΩ, 10 kΩ, 100 kΩ, 1 MΩ) úgy, hogy a bemeneti feszültség értékét 1 V-os lépésekben változtatjuk az 1 ÷ 15 V értéktartományban
- ábrázoljuk ugyanarra a grafikonra a kimeneti feszültséget a bemeneti feszültség függvényében minden terhelő ellenállás esetén
- vizsgáljuk meg a feszültségstabilizátor áram-feszültség karakterisztikáját és állapítsuk meg mennyire tér el az ideális alaktól
- határozzuk meg bementi feszültségváltozás elnyomási tényezőjét
- készítsük el az integrált feszültségstabilizátor kapcsolási rajzát:



majd ismételjük meg a fent felsorolt méréseket, ábrázolásokat és számításokat

- határozzuk meg és hasonlítsuk össze a relatív feszültségváltozásokat (ΔU_{rel}) a két stabilizátor esetén, ahol:

$$\Delta U_{rel} = \frac{\Delta U_{ki}}{\Delta U_{be}}$$

- készítsünk részletes és kimerítő kiértékelő jelentést munkánkról

5. OLVASNIVALÓ

- http://www.editura.ubbcluj.ro/bd/ebooks/pdf/3039.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/LCR_T4.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/datasheets/passive_components/
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/+help/
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/datasheets/breadboard+jumper/WBU-502L+J.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DP800_HU.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DM3058_DMM.pdf

16. A BILLENŐKAPCSOLÁSOK TANULMÁNYOZÁSA

1. A GYAKORLAT CÉLJA

Az astabil, monostabil és bistabil multivibrátor áramkörök gyakorlati vizsgálata időzítő integrált áramköri kapcsolások segítségével

2. SZÜKSÉGES ESZKÖZTÁR

- időzítő integrált áramkör (NE555)
- forrasztásmentes próbapanel és jumperkészlet
- ellenállások (R = 470 Ω, 1 kΩ, 22 kΩ, 47 kΩ)
- kondenzátorok (C = 10 nF, 1 μF)
- világító diódák (piros, zöld, sárga, fehér)
- nyomógombok
- labortáp
- asztali multiméter és mérőzsinórok
- grafikus, többfunkciós alkatelem teszter
- oszcilloszkóp és mérőszondák
- mérőtüskék

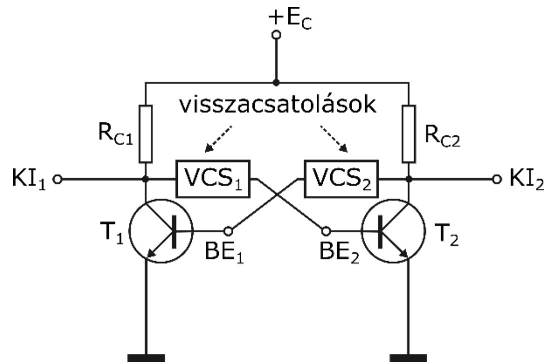
3. ELMÉLETI ALAPOK RÖVIDEN

A *billenőkör* egy olyan pozitívan visszacsatolt univerzális digitális áramkör, amely abban különbözik a hagyományos értelemben vett pozitívan visszacsatolt lineáris analóg áramkörtől (oszcillátortól), hogy a létrehozott kimeneti jel nem lesz harmonikus és időben nem folytonosan fog változni, hanem egy ugrásfüggvény szerint veszi fel két lehetséges értékét. Ezt a két értéket a felhasznált áramköri elemek határozzák meg. A rendszer a két érték közötti fog viszonylag elég gyorsan „ugrálni", azaz billegni. Az így létrehozott időben változó jel Fourier analízise az alapfrekvencián kívül igen sok felharmonikus jelenlétét is kimutatta, ezért kapták a szakirodalomban a *multivibrátor* elnevezést is.

A multivibrátorok típusát a pozitív visszacsatoláshoz használt áramköri elemek és a kialakuló stabil állapotok száma határozzák meg. A pozitív visszacsatolással kapcsolatosan meg kell jegyezni, hogy ez sem a szokványos, vagyis nem a rendszer saját kimeneti jelét csatoljuk vissza a bemenetre, hanem a kimeneti jelt egy másik rendszertől vesszük át. Tehát szükséges lesz két elektronikus kapcsolót használni, mindenik kimenetéről egy visszacsatoló elem segítségével visszavisszük a kimeneti jelt a másik kapcsoló bemenetére.

Elvileg az egyes állapotok közötti átmenetet (átbillenést) egy viszonylag kis energiájú indító jel – a trigger – fogja kezdeményezni és megindítani a visszacsatolási folyamatot, az állapotok közötti átmenethez szükséges energiát természetesen maga a rendszer (táp) szolgáltatja. A trigger szerepét betöltheti egy kapcsoló vagy nyomógomb is. Ha a visszacsatolt rendszerben kondenzátor van (ami energiatároló elem), a kialakuló exponenciális időfüggvény viszi majd át a rendszert a visszacsatolt szakaszhoz. Ezért a külső trigger nélkül is lehetséges lesz az állapot változtatás.

A multivibrátorok osztályozásának egyik legjobb szemléltetése két, bipoláris tranzisztorokkal megépített elektronikus kapcsoló segítségével történik. Az elvi vázlatot az alábbi ábra mutatja be:



Jól megfigyelhető, hogy a T_1-es tranzisztorral megépített egyszerű kapcsoló a KI_1-es kimenetét a VCS_1-es visszacsatolási elem segítségével a T_2-es tranzisztorral megépített kapcsoló BE_2-es bementére vezetjük vissza és fordítva.

A multivibrátorok kapcsolóelemek szerinti osztályozását a fenti ábra alapján az alábbi táblázat szemlélteti:

VCS_1	VCS_2	multivibrátor
C	C	ASTABIL
C	R	MONOSTABIL
R	R	BISTABIL

Az *astabil multivibrátor* egy önrezgő vagy szabadonfutó billenőkör, azaz nincs egyetlen stabil állapota sem – állandóan billegni fog, a kimenő jel négyszög alakú lesz. A jel periódusát, az egyes állapotokban eltöltött véges időt és ennek alapján a kitöltési tényezőt az áramköri elemek értékei határozzák meg. Ha kezdeti állapotként az feltételezzük, hogy T_1 vezet, T_2 pedig zárt, akkor ez utóbbi állapot nem stabil, mert a tranzisztor bázisfeszültsége E_C értékhez tart. Amikor T_2 bázis-emitter átmenete nyitni kezd, kollektorfeszültsége csökken. Ez a csökkenés áttevődik T_1 bázisára, az pedig ennek következtében kezd lezárni. Ez a T_1 tranzisztor kollektorfeszültségének növekedését eredményezi. Ez a növekedés pozitív visszacsatolásként kerül vissza T_2 bázisára, így azt nagyon gyorsan telítésbe vezérli. T_2 kollektorfeszültségének csökkenése rákerül T_1 bázisára és azt időlegesen lezárja. Természetesen ez sem lesz stabil állapot, mert hosszútávon T_1 bázisa is E_C feszültségre törekszik, ezért egy idő múlva az előző folyamat zajlik le ismét: a pozitív visszacsatolás alatt a rendszer ismét állapotot változtat. Ekkor jutunk vissza a kiindulásként feltételezett értékekhez, vagyis lejárt egy teljes periódus. Az astabil multivibrátort négyszögjelek előállítására használjuk.

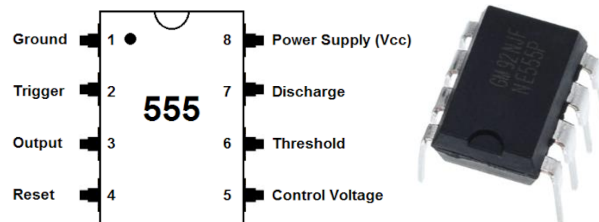
A *monostabil multivibrátor* egystabil állapotú, azaz csak egy stabil állapota van – vezérlő impulzus nélkül a kimenet egy rögzített, stabil értéken marad, a másik (nem stabil) állapotba csak a külső vezérlő jel hatására billen át. Ebben az instabilnak tekintett állapotban csak meghatározott ideig maradhat, azután pedig visszabillen a stabil állapotba. A fentebb

bemutatott elvi kapcsolás és a vele járó táblázat nyilvánvalóvá teszik az astabil multivibrátorhoz viszonyított kapcsolási különbséget: itt egy ellenállást és egy kondenzátort találunk a két tranzisztor között. Az áramkörnek lesz egy egyértelmű nyugalmi állapota (az alkatelemek és feszültségek helyes megválasztása esetén T_1 lezárt, T_2 vezet és ezen állapotukat mindaddig fenntartják, míg egy külső indítójel hatására mindkét tranzisztor aktív állapotába nem kerül). Az indítójel T_1 kollektorára érkezik és hatására T_2 kezd lezárni, kollektorán a feszültség emelkedik, ez T_1 vezetését eredményezi, melynek kollektoráról (a pozitív visszacsatolás miatt) a megnövekedett lezárójel eljut T_2 bázisára. Az áramkör kvázistabil állapotába kerül, melynek végeztével alapállapotába billen vissza. A monostabil multivibrátort jól meghatározott, állandó időtartamú impulzusok előállítására vagy impulzusszerű jelek fix idejű késleltetésére alkalmazzák.

A *bistabil multivibrátor* két stabil állapottal rendelkezik, a kimenet csak akkor fog változni, ha az átbillenési folyamatot és természetesen a visszabillenést is, egy külső triggerelő jel vezérli. Megfigyelve az áramköri felépítést észrevehető, hogy szimmetrikus, azaz a bistabil két egymással szembekapcsolt inverterből alakult ki. A stabil állapotokban az egyik tranzisztor rendszerint telítésben van, a másik pedig zárt. Az állapotváltozás folyamata alatt a pozitív visszacsatolás érvényesül. A bistabil multivibrátor működésé viszonylag egyszerű. Alapállapotban egyik tranzisztor bemenetére sem adunk jelet. Ilyenkor T_1 lehet telített és T_2 zárt, vagy fordítva. Ha például az először említett állapotban vagyunk, akkor a T_1 kollektorára érkező jel hatására a tranzisztor kinyit és kollektor feszültsége csökken. Emiatt T_2 bázisárama lecsökken, kollektorfeszültsége pedig megnő. Kialakul a pozitív visszacsatolás és ez a növekedés visszahat a csatoló ellenálláson keresztül T_1 bázisára tovább növelve annak bázisáramát. A rendszer a stabil állapotot akkor éri el, ha T_1 teljesen kinyit (T_2 teljesen lezárt és nyitva tartja a visszacsatoló ellenálláson keresztül T_1-t. Most már a vezérlő jel teljesen levehető T_1 kollektoráról, mert az áramkör megtartja stabil állapotát. Az áramkör másik stabil állapotba történő átbillenését úgy idézhetjük elő, hogy T_2 bemenetre adunk tápfeszültséget. Ha mindkét bemenetre egyszerre kerül tápfeszültség, akkor mindkét tranzisztor kinyit. Ez az állapot instabil. Ha ezután a bemenetekről levesszük a feszültséget, akkor az áramköri elemek aszimmetriája dönti el, hogy melyik stabil állapotba billen az áramkör. Mivel a végállapot ebben az esetben nem „jósolható” meg egyértelműen, ezt a bemenő kombinációt ki kell zárni. Alapvetően a bistabil multivibrátort memória-elemként alkalmazzák, az 1 bit információ tárolására alkalmas egységként.

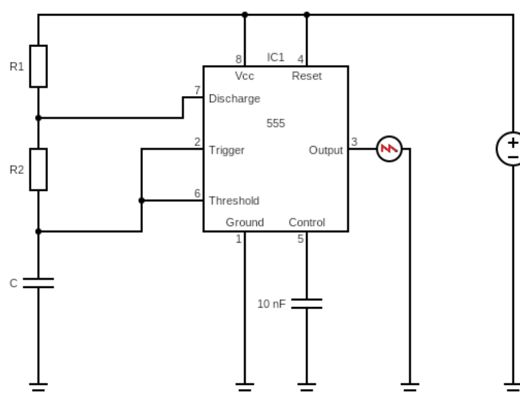
A diszkrét alkatelemekből viszonylag nehéz multivibrátorokat építeni mivel nem léteznek tökéletesen egyforma felépítési és működési tulajdonságokkal rendelkező önálló tranzisztorok és maguk a gyakorlati kapcsolások is komplexebbek, mint a fent bemutatott didaktikai modellek. Az 1970-es évek elején az integrált áramkörök tervezésére és gyártására szakosodott Signetics vállalat keretén belül megfogalmazódott az a feladat, hogy készítsenek egy olyan oszcillátort amelyik legyen tápfeszültség- és hőmérsékletfüggetlen, a frekvenciáját pedig lehessen külső elemekkel beállítani. A tervezési munka eredménye egy 555-ös kódszámú általános időzítő integrált áramkör lett. Az időzítő áramkör egy olyan elektronikus kapcsolás, amely egy jól meghatározott időtartam után elindít vagy leállít egy rendszert (áramkört vagy kacsolást). Az 555-ös integrált áramkör (különböző gyártói változataival

együtt) a mai napig is a legnagyobb példányszámban eladott IC, elnevezése a marketinges hangzatosság mellett nagy valószínűséggel onnan származik, hogy a chipben integrálva található három darab 5 kΩ-os ellenállás. Igen jól használható olyan időzítési feladatokra, ahol az ellenállások és kondenzátorok segítségével beállított vezérlési időtartam a nanoszekundumok és a perc közötti értéktartományban van. Látképe és lábkiosztása az alábbi ábrán látható:

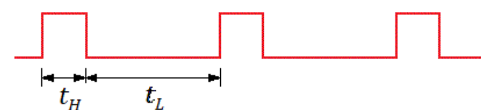


1: GROUND („föld") a tápegység közös referenciapontja, azaz a 0 V
2: TRIGGER („indító" / „elsütő") ha alacsony szinten van, a kimenet magas szinten lesz
3: OUTPUT („kimenet") csak két állapota van: magas (azaz a tápfeszültség értéke) vagy alacsony (azaz 0 V)
4: RESET („törlés") ha alacsony szintre kerül, a kimenet is alacsony szintre billen
5: CONTROL VOLTAGE („vezérlő feszültség") értékével a bemenet billenési küszöbszintje ellenőrizhető, illetve módosítható vele
6: THRESHOLD („küszöbszint") ha értéke magasabb a beállított küszöbnél (ami lehet a tápfeszültség 2/3-a, vagy a vezérlő feszültség értéke) akkor a kimenet alacsony lesz
7: DISCHARGE („kisütés") a külső időzítő kondenzátor kisütésére használható, akkor lesz aktív, ha a kimenet magas szinten van
8: POWER SUPPLY („tápfeszültség") a 4,5 – 15 V értéktartományban található (V_{CC})

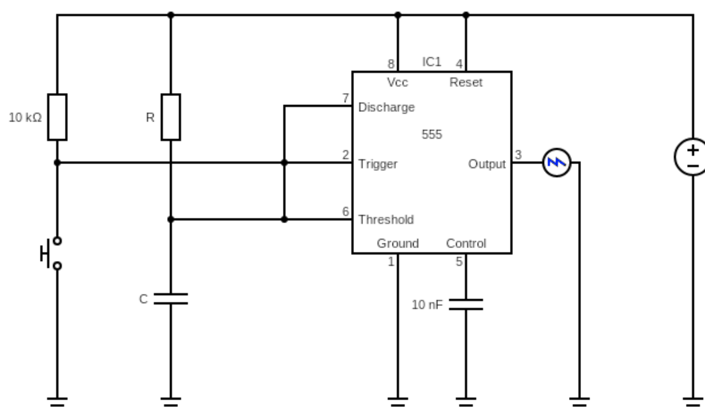
Az 555 időzítő IC segítségével, a külső áramköri elemek megfelelő értékeivel és csatlakoztatásával, mindhárom multivibrátortípus megépíthető:



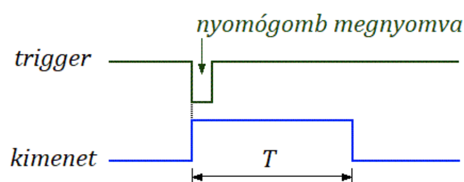
← astabil



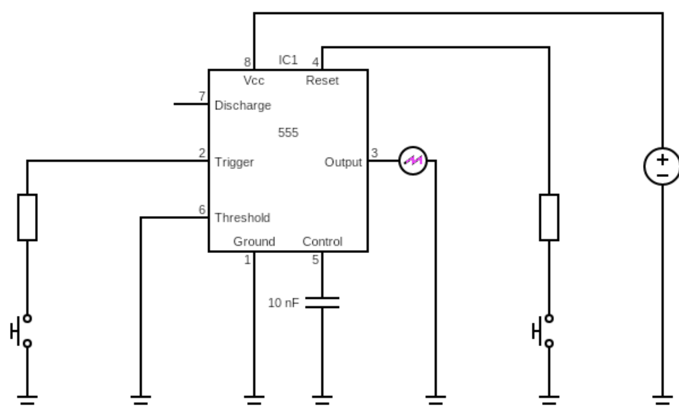
$$t_H = 0{,}693 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C$$
$$t_L = 0{,}693 \cdot R_2 \cdot C$$
$$T = t_H + t_L = 0{,}693 \cdot (R_1 + 2R_2) \cdot C$$



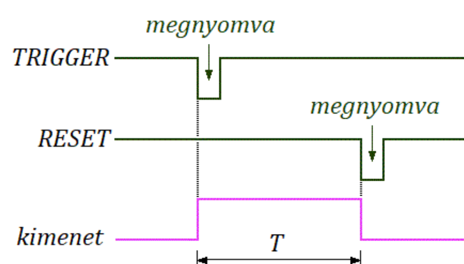
← monostabil



$T = 1{,}1 \cdot R \cdot C$

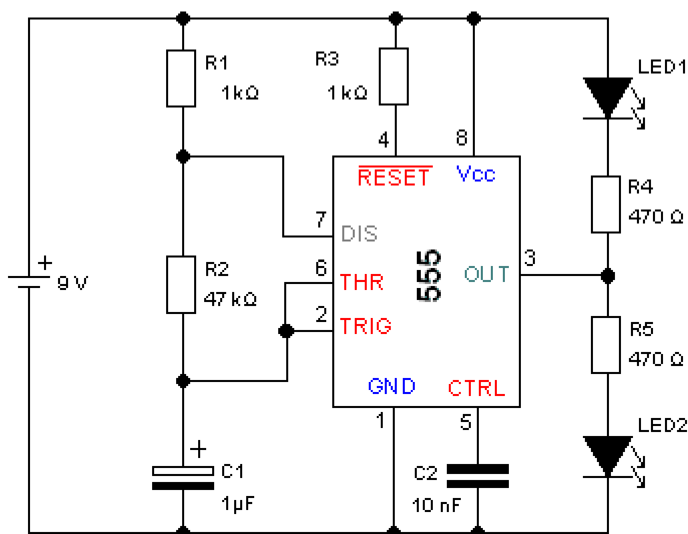


← bistabil



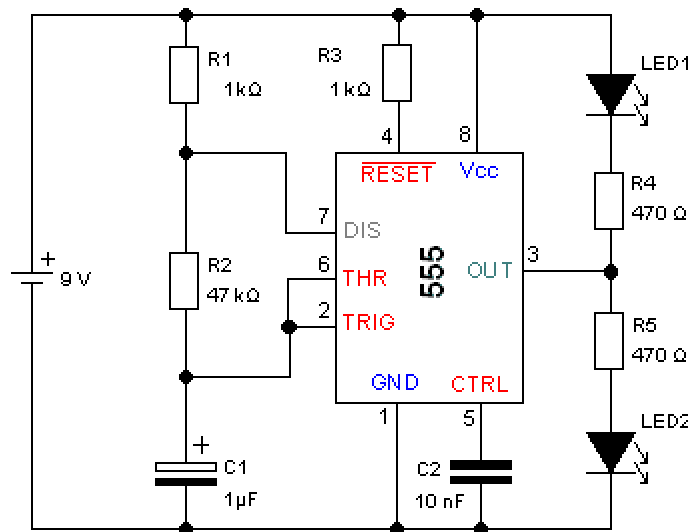
4. A GYAKORLATI MUNKA MENETE. FELADATOK ÉS KÉRDÉSEK

- szemrevételezéssel azonosítjuk az ellenállásokat és a kondenzátorokat és teszterrel meghatározzuk pontos névleges értékeiket
- beazonosítjuk az időzítő IC kivezetéseit
- készítsük el az astabil multivibrátor kapcsolási rajzát:



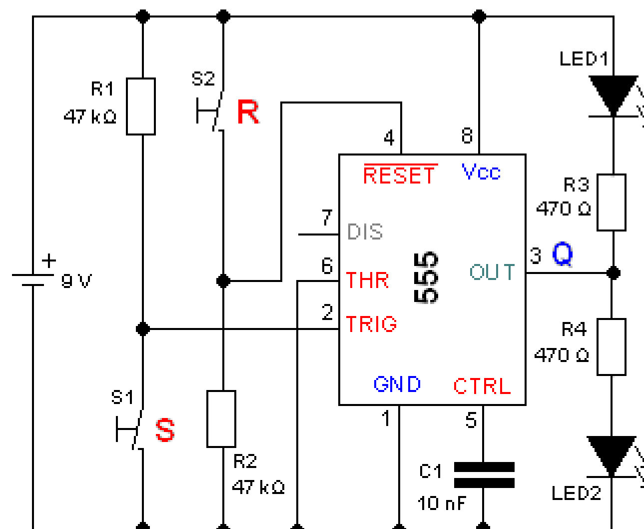
- jelenítsük meg oszcilloszkópon a jelformát, határozzuk meg a frekvenciát és a jellemző időtartamokat, majd vessük össze azok értékeit az elméleti számolások eredményeivel
- figyeljük meg a LED-ek alternatív villogását, majd javasoljunk olyan megfelelő alkatelem értékeket, amelyekre ez a villogás lassúbb lesz

- készítsük el a monostabil multivibrátor kapcsolási rajzát:



- jelenítsük meg oszcilloszkópon a jelformát, határozzuk meg a jellemző időtartamot, majd vessük össze annak értékét az elméleti számolások eredményeivel
- figyeljük meg a LED világítása és az oszcilloszkópon kijelzet jel időtartama közötti kapcsolatot, majd javasoljunk olyan megfelelő alkatelem értékeket, amelyekre ez a világítás/időtartam hosszabb vagy rövidebb lesz

- készítsük el a bistabil multivibrátor kapcsolási rajzát:



- két világító dióda (LED) és előtét ellenállások segítségével vizsgáljuk meg az információtárolás lehetőségét
- készítsünk részletes és kimerítő kiértékelő jelentést munkánkról

5. OLVASNIVALÓ

- http://www.editura.ubbcluj.ro/bd/ebooks/pdf/3039.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/LCR_T4.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/datasheets/passive_components/
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/+help/
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/datasheets/breadboard+jumper/WBU-502L+J.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DP800_HU.pdf
- https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/Rigol_DM3058_DMM.pdf

17. VÁLOGATOTT KÖNYVÉSZET ÉS WEBOGRÁFIA

Könyvek, tankönyvek, jegyzetek

Balbir Kumar, Shail B. Jain – *Electronic Devices and Circuits*, Prentice Hall 2008
Bryan H. Suits – *Electronics for Physicists - An Introduction*, Springer 2020
Buzás G., Simon A. – *Az analóg és digitális elektronika alapjai*, Ábel kiadó, 2001
Domokos J., Papp S. – *Analóg laboratóriumi gyakorlatok*, Scientia kiadó 2019
F. M. Mims – *Elektronika alapfokon*, Műszaki Könyvkiadó 1989
Kovács Cs. – *Elektronika*, General Press kiadó 2003
Kovács Cs. – *Elektronikus áramkörök*, General Press kiadó 2003
S. D. Anghel – *Bazele electronicii analogice și digitale*, Presa Universitară Clujeană, 2007
Simon A., Tunyagi A. R.: *Elektronika Laboratóriumi Praktikum 1.*, Presa Universitară Clujeană, 2021
Szűcs P. – *Elektronika mindenkinek*, Műszaki Könyvkiadó 1987
U. Tietze, Ch. Schenk – *Analóg és digitális áramkörök*, Műszaki könyvkiadó, 1993
Zombori B. – *Elektronika*, Tankönyvmester kiadó 2014

Honlapok – Elméleti és gyakorlati információkhoz:

https://www.electronics-tutorials.ws/
https://www.allaboutcircuits.com/
https://learn.electronics-course.com/
https://www.eleccircuit.com/
http://wp.mikeelektronika.hu/category/elektronika/
https://www.inf.u-szeged.hu/~gingl/hallgatoknak/elektronika1/index.html

Honlapok – Szimulációs programcsomagok:

https://www.ni.com/ro-ro/shop/product/multisim.html
https://www.multisim.com/
https://www.ti.com/tool/TINA-TI
https://www.tina.com/
https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html
https://www.filehorse.com/download-fritzing-64/

Honlapok – Hasznos információk:

Elektronikai alkatelem adatlapok gyűjteménye (https://atom.ubbcluj.ro/alpar/datasheets/)
Elektronikus eszközök használati útmutatói (https://atom.ubbcluj.ro/alpar/manuals/)
Elektronikus kapcsolások online megrajzolásához (https://www.circuit-diagram.org/editor/)



ISBN: 978-606-37-1254-8
ISBN: 978-606-37-2011-6